



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESRIPIADOR PARA  
EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE TOMA DEL  
SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADA EN EL RÍO ARTURO.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL OPCIÓN HIDRÁULICA**

**AUTOR: JIMÉNEZ GUATO HÉCTOR LENIN**

**TUTOR: ING. ENRIQUE SALOMÓN JAYA QUEZADA MSc**

**QUITO – ECUADOR**

**2013**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de titulación lleno de esfuerzo y experiencias maravillosas, es dedicado a mis padres, a mi hermana, a mi esposa, a toda mi familia, a mis amigos y a todas las personas que tiene un lugar en mi corazón, quienes siempre estuvieron junto a mí cuando más lo necesite.

**Héctor Lenin Jiménez Guato**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco a Dios que cada día me llena de bendiciones y por todas las personas buenas que ha puesto en mi camino, por darnos la salud y la prosperidad tanto a mi persona como a mis padres.

Agradezco a mis padres Jorge y Mercedes, a mi hermana Gina que gracias a su formación, cuidado y por todo lo que ellos dejaron de tener por darme todo a mí, por impartir valores y ética a mi persona.

A mi compañero de tesis Diego Herrera, que junto con su apoyo sacamos el proyecto adelante. Al Ing. Salomón Jaya por permitirme realizar mi trabajo de titulación, así como la calidad de persona que es y por toda la ayuda recibida de su parte.

A la Universidad Central del Ecuador, a mi querida Facultad y todos los departamentos que la conforman, al Gobierno de la Provincia de Pichincha por toda la ayuda e información recibida en especial al Ing. Franklin Burbano.

A mi esposa Elizabeth por todo su apoyo brindado en las buenas y en las malas.

A mis amigos Marco, Don Apolo, Katy y Fabián, a quienes aprecio mucho y que forman parte de mi vida universitaria, laboral, familiar y profesional respectivamente.

**Héctor Lenin Jiménez Guato**

## AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, Jiménez Guato Héctor Lenin en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre **Modelación e Implementación de un Desripiador para el Control de Sedimentos de la Obra de Toma del Sistema de Riego Tabacundo, Ubicada en el río Arturo**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

*En la ciudad de Quito, a los 5 días del mes de Septiembre del 2013*

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 5, 8, 19 y demás pertinentes de la ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento

*Ing. Enrique Salcedo Jara Quezada MSc.*

Quito, 5 de Septiembre del 2013



HÉCTOR LENIN JIMÉNEZ GUATO


CI. 172028099-7

## **CERTIFICACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación: **“Modelación e Implementación de un Desripiador para el Control de Sedimentos de la Obra de Toma del Sistema de Riego Tabacundo, Ubicada en el río Arturo.”**

Presentado y desarrollado por Héctor Lenin Jiménez Guato, para aprobar el Tema del Trabajo de Graduación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero, que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 5 días del mes de Septiembre del 2013



Ing. Enrique Salomón Jaya Quezada MSc.

**TUTOR**

## **INFORME SOBRE CULMINACIÓN DE TESIS**

### **TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

**MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESRIPIADOR PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADA EN EL RÍO ARTURO.**

**TUTOR:** Ing. Enrique Salomón Jaya Quezada MSc

**FECHA:** 22 de Agosto del 2013

### **1. ANTECEDENTES:**

El Director de la Carrera de Ingeniería Civil; solicita el informe posterior al análisis, dirección y orientación con Oficio FI-DCIC-2012 – 702 sobre el Plan y Temario del Trabajo de Graduación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil; presentado por el señor **JIMÉNEZ GUATO HÉCTOR LENIN**, que versa sobre: **“MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESRIPIADOR PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADA EN EL RÍO ARTURO”**.

### **2. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

- El señor estudiante procede a la recolección de material bibliográfico necesario para el desarrollo del proyecto de investigación e implementación de un desripiador para el control de sedimentos de la obra de toma del sistema de riego Tabacundo, ubicado en el río Arturo. Esta actividad consiste en la recolección y revisión crítica de los textos y de las publicaciones sobre este tema. Adicionalmente se revisó toda la información previa del modelo hidráulico anterior construido e investigado en el laboratorio de hidráulica con la finalidad de evaluar el comportamiento de arrastre de sedimentos.



- Se procede con la construcción y con la calibración del desripiador del modelo construido anteriormente en el laboratorio de Hidráulica-UCE
- Se procede con la sistematización y ordenamiento de las fórmulas existentes y se llega a establecer la relación fundamental y analizada experimentalmente con ayuda del modelo.
- Se formula la metodología de funcionamiento del modelo y cálculo del desripiador y los correspondientes resultados experimentales con los diferentes caudales ensayados.

### 3. CONCLUSIÓN

Se considera que este trabajo de graduación es un valioso aporte para analizar el comportamiento de los sedimentos que transporta el río Arturo y la cantidad de material que pasa desde el canal desripiador hacia la reja y hacia la galería. Por lo tanto, éste diseño podrá ser implementado en la obra hidráulica que originalmente no lo tuvo o para futuros proyectos similares.

Atentamente,



Ing. Enrique Salomón Jaya Quezada MSc  
Profesor Principal  
**TUTOR**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA  
SECRETARÍA

## RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 21-05-2013

Señor HECTOR LENIN JIMENEZ GUATO

Tema: MODELACION E IMPLEMENTACION DE UN DESCRIPCIÓN  
PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE OBRAS DEL  
SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADO EN EL RÍO AIZUNO

### CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NUMERO	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	ING. FABIAN DURANGO	20	VEINTE	<i>[Firma]</i>
PROFESOR TITULAR	ING. JAIME GUTIERREZ	20	VEINTE	<i>[Firma]</i>
PROMEDIO		20	VEINTE	<i>[Firma]</i>

Dra. Katheryne Carrión Valdivieso  
SECRETARÍA ABOGADA (E)





## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	Pág. ii
AGRADECIMIENTO.....	Pág. iii
AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL.....	Pág. iv
CERTIFICACIÓN.....	Pág. v
INFORME DEL TUTOR .....	Pág. vi
RESULTADOS DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN.....	Pág. viii
CONTENIDO .....	Pág. ix
LISTADO DE FIGURAS .....	Pág. xiv
LISTADO DE TABLAS.....	Pág. xv
LISTADO DE FOTOGRAFÍAS.....	Pág. xvi
LISTADO DE GRÁFICOS.....	Pág. xviii
RESUMEN.....	Pág. xix
ABSTRACT.....	Pág. xx
CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN.....	Pág. xxi
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>Pág. 1</b>
1.1 DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	Pág. 1
1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PROYECTO.....	Pág. 3
1.3 MARCO TEÓRICO.....	Pág. 3
1.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	Pág. 5
1.5 RESULTADOS ESPERADOS.....	Pág. 5
1.6 VIALIDAD ECONÓMICA.....	Pág. 6

<b>CAPÍTULO II: DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO.....</b>	<b>Pág.8</b>
2.1	DEFINICIÓN Y TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN.....Pág.8
2.2	ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA OBRA DE CAPTACIÓN.....Pág.13
2.3	CARACTERÍSTICAS DE UNA TOMA DE FONDO (TIPO CAUCASIANA O TIROLESA).....Pág.20
<b>CAPÍTULO III: ELEMENTOS DE UNA TOMA DE FONDO.....</b>	<b>Pág.22</b>
3.0	REJILLA.....Pág.22
3.1	COMPUERTA.....Pág.24
3.1.1	GALERIA.....Pág.25
3.1.2	INFRAESTRUCTURA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS.....Pág.26
3.1.3	CAUDALES DE DISEÑO: MÍNIMO DE OPERACIÓN Y MÁXIMO.....Pág.26
<b>CAPÍTULO IV: ESTUDIOS DE LOS MATERIALES SÓLIDOS.....</b>	<b>Pág.32</b>
4.1	INTRODUCCIÓN.....Pág.32
4.2	TAMAÑO DE PARTÍCULAS.....Pág.33
4.3	FORMA DE PARTÍCULAS.....Pág.33
4.4	DENSIDAD DE PARTÍCULAS.....Pág.34
4.5	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS.....Pág.36
4.6	EFFECTO DE CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.....Pág.39
4.7	DISTRIBUCIONES GRANULOMÉTRICAS.....Pág.45

## **CAPÍTULO V: MODELACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.....Pág.52**

### **FÍSICA**

5.1	INTRODUCCIÓN.....	Pág.52
5.2	ANÁLISIS DIMENSIONAL.....	Pág.52
5.3	SELECCIÓN DE LA SEMEJANZA: GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA Y DINÁMICA.....	Pág.54
5.4	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	Pág.64
5.5	DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO FÍSICO.....	Pág.66
5.6	DISPONIBILIDAD FÍSICA E HIDRÁULICA DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA.....	Pág.76

## **CAPÍTULO VI: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO.....Pág.78**

### **EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

6.1	INTRODUCCIÓN.....	Pág.78
6.2	ELABORACIÓN DE PLANOS Y DETALLES DEL MODELO FÍSICO.....	Pág.78
6.3	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO.....	Pág.78

## **CAPÍTULO VII: CALIBRACIÓN Y PRUEBAS EN EL MODELO....Pág.82**

7.1	CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	Pág.82
7.1.1	MEJORAS EN EL MODELO.....	Pág.84
7.1.2	PRUEBAS.....	Pág.85
7.1.3	OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	Pág.91

<b>CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>Pág.96</b>
8.1 INTRODUCCIÓN.....	Pág.96
8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	Pág.96
8.3 COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS TEÓRICO CON EL PRÁCTICO.....	Pág.97
8.4 ANÁLISIS DE VARIANTES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA DEL MODELO.....	Pág.98
8.5 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE LA VARIANTE SELECCIONADA.....	Pág.100
 <b>CAPÍTULO IX: MANUAL DE USUARIO PARA OPERAR EL MODELO FÍSICO LIH.....</b>	 <b>Pág.101</b>
9.1 ENCENDIDO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	Pág.101
9.2 VERIFICACIÓN DEL CAUDAL A TRAVÉS DE VERTEDEROS CALIBRADOS.....	Pág.102
9.3 REGULACIÓN DEL CAUDAL EN FUNCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO.....	Pág.110
9.4 METODOLOGÍA DE LA INSERCIÓN DEL MATERIAL SÓLIDO EN EL MODELO.....	Pág.110
9.5 METODOLOGÍA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO.....	Pág.111

<b>CAPÍTULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>Pág.112</b>
10.1 CONCLUSIONES SOBRE EL ESTUDIO	
EXPERIMENTAL.....	Pág.112
10.2 CONCLUSIONES SOBRE EL TRABAJO	
DE TITULACIÓN.....	Pág.113
10.3 RECOMENDACIONES.....	Pág.114
10.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	Pág.115
10.5 BIBLIOGRAFÍA.....	Pág.117
10.6 ANEXOS.....	Pág.119
10.6.1 REGISTRO DE DATOS.....	Pág.122
10.6.2 SERIE FOTOGRÁFICA.....	Pág.123
10.6.2 AGRADECIMIENTOS.....	Pág.128

## LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 2.1	Captación vertedero lateral .....	Pág.10
Figura N° 2.2	Galería Filtrante .....	Pág.11
Figura N° 2.3	Captación tipo Toma.....	Pág.12
Figura N° 2.4	Captación tipo Toma .....	Pág.13
Figura N° 2.5	Vista aguas debajo de un tomadero tipo Tirol.....	Pág.21
Figura N° 2.6	Vista aguas debajo de un tomadero tipo Tirol.....	Pág.21
Figura N° 3.1	Perfil de toma caucasiana.....	Pág.23
Figura N° 3.2	Vista de tomadero de “Dos Agua.....	Pág.23
Figura N° 3.3	Vista de tomadero con rejillas.....	Pág.24
Figura N° 3.4	Perfil de la compuerta del desripiador.....	Pág.24
Figura N° 3.5	Perfil de la galería de la tesis anterior.....	Pág.26
Figura N° 3.6	Ubicación del proyecto de riego Tabacundo.....	Pág.28
Figura N° 3.7	Ubicación de los sitios de captación.....	Pág.29
Figura N° 4.1	Velocidad de caída (w) para partículas de arena.....	Pág.37
Figura N° 4.2	Zonas de transporte, depositación de sedimentos .....	Pág.40
Figura N° 4.3	Evolución de la velocidad y movimiento de las partículas	Pág.45
Figura N° 4.4	Curva Granulométrica.. .....	Pág.46
Figura N° 4.5	Curva de Descarga Sólida del río Arturo. ....	Pág.49
Figura N° 4.6	Producción de sedimentos por área .....	Pág.49
Figura N° 5.1	Corte transversal del canal desripiador en prototipo .....	Pág.68
Figura N° 5.2	Corte transversal del canal desripiador en modelo .....	Pág.68
Figura N° 5.3	Corte transversal del canal de evacuación .....	Pág.70
Figura N° 5.4	Corte transversal del canal de evacuación .....	Pág.70
Figura N° 5.5	Ángulo de inclinación del canal desripiador .....	Pág.73
Figura N° 5.6	Corte transversal del canal desripiador .....	Pág.74



Figura N° 7.1	Niveles Prototipo. Desripiador.....	Pág.82
Figura N° 7.2	Mejoras del modelo actual .....	Pág.85
Figura N° 9.1	Sección Transversal Vertedero rectangular.....	Pág102
Figura N° 9.2	Elevación Vertedero rectangular .....	Pág103
Figura N° 9.3	Sección Transversal Vertedero triangular.....	Pág107
Figura N° 9.4	Elevación Vertedero triangular... ..	Pág107

### **LISTADO DE TABLAS**

Tabla N° 1.1	Presupuesto de Tesis de Grado .....	Pág.7
Tabla N° 2.1	Estudio Hidrológico Año 1978.....	Pág.16
Tabla N° 2.2	Estudio Hidrológico Año 1983.....	Pág.17
Tabla N° 2.3	Estudio Hidrológico Año 1989.....	Pág.17
Tabla N° 2.4	Estudio Hidrológico Año 1983.....	Pág.18
Tabla N° 2.5	Estudio Hidrológico Año 2002.....	Pág.18
Tabla N° 2.6	Estudio Hidrológicos. Resultados Generales.....	Pág.19
Tabla N° 3.1	Tabla de Probabilidad de recurrencia.....	Pág.30
Tabla N° 3.2	Tabla de Caudales .....	Pág.32
Tabla N° 4.1	Tabla de Tamaño de Sedimentos.....	Pág.33
Tabla N° 4.2	Rango de valores del peso específico de partículas sólidas	Pág.35
Tabla N° 4.3	Valores usuales de densidad y peso específico para arenas	Pág.35
Tabla N° 4.4	Coeficientes de rugosidad de Manning .....	Pág.42
Tabla N° 4.5	Velocidades medias no erosionables para suelos granulares	Pág.43
Tabla N° 4.6	Velocidades no erosivas para suelos .....	Pág.44
Tabla N° 4.7	Datos hidráulicos y granulométricos .....	Pág.44
Tabla N° 5.1	Magnitudes Dinámicas.....	Pág.54
Tabla N° 5.2	Magnitudes físicas para el método de Froude .....	Pág.63
Tabla N° 5.3	Valores del ancho y altura del canal desripiador .....	Pág.67
Tabla N° 5.4	Elementos constitutivos del canal desripiador .....	Pág.72
Tabla N° 5.5	Elementos constitutivos del canal de evacuación .....	Pág.72

Tabla N° 5.6	Valores de parámetros según distintas escalas .....	Pág.75
Tabla N° 7.1	Caudales y alturas de ingreso al sistema de toma. ....	Pág.86
Tabla N° 7.2	Clasificación de Sedimentos .....	Pág.86
Tabla N° 7.3	Comparación de eficiencia con y sin Desripiador .....	Pág.92
Tabla N° 9.1	Comparación de eficiencia con y sin Desripiador.....	Pág.105
Tabla N° 9.2	Valores calculados para graficar vertedero triangular.....	Pág.109

### **LISTADO DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía N° 3.5	Compuerta de limpieza del canal desripiador.....	Pág.25
Fotografía N° 5.1	Canal desripiador con un ángulo de 16° .....	Pág.64
Fotografía N° 5.2	Canal desripiador con un ángulo de 10° .....	Pág.65
Fotografía N° 6.1	Replanteo del canal desripiador .....	Pág.78
Fotografía N° 6.2	Ubicación de la compuerta del canal desripiador ...	Pág.78
Fotografía N° 6.3	Conformación del canal desripiador y su respectivo ángulo .....	Pág.78
Fotografía N° 6.4	Ubicación del canal de recolección de sedimentos ....	Pág.80
Fotografía N° 6.5	Modelo Hidráulico terminado canal desripiador .....	Pág.80
Fotografía N° 7.1	Micro Molinete.....	Pág.83
Fotografía N° 7.2	Clasificación e identificación de sedimentos .....	Pág.83
Fotografía N° 7.3	Clasificación e identificación de sedimentos.....	Pág.87
Fotografía N° 7.4	Cauce natural del río sin sedimentos .....	Pág.88
Fotografía N° 7.5	Comportamiento de los sedimentos con el Caudal Mínimo.....	Pág.88

Fotografía N° 7.6	Comportamiento de los sedimentos con el Caudal diseño 85% recomendado ..... Pág.89
Fotografía N° 7.7	Comportamiento de los sedimentos con el Caudal medio ..... Pág.89
Fotografía N° 7.8	Comportamiento de los sedimentos con el caudal de diseño .....Pág.90
Fotografía N° 7.9	Comportamiento de los sedimentos con el caudal máximo .....Pág.90
Fotografía N° 7.10	Sedimentos que pasaron hacia la rejilla .....Pág.90
Fotografía N° 7.11	Modelo de Investigación anterior .....Pág.91
Fotografía N° 7.12	Obra de toma con desripiador .....Pág.92
Fotografía N° 8.1	Canal desripiador .....Pág.97
Fotografía N° 8.2	pendiente del canal desripiador .....Pág.98
Fotografía N° 9.1	Encendido de Bombas .....Pág.101
Fotografía N° 9.2	Piezómetro para medir la altura dinámica del agua.....Pág.101
Fotografía N° 9.3	Válvulas de Control da ingreso del caudal al modelo .....Pág.102
Fotografía N° 9.4	Tanque de carga hacia la toma .....Pág.103
Fotografía N° 9.5	Vertedero Triangular .....Pág.106
Fotografía N° 9.6	Metodología de colocación de sedimentos.....Pág.110
Fotografía N° 10.1-10.2-10.3-10.4	Modelo hidráulico anterior .....Pág.123

Fotografía N° 10.5 Aforo del caudal del río Arturo .....	Pág.125
Fotografía N° 10.6 Modelo hidráulico anterior .....	Pág.125
Fotografía N° 10.7 Tanque de carga del modelo hidráulico.....	Pág.126
Fotografía N° 10.8 Modelo hidráulico modificado actual.....	Pág.126
Fotografía N°10.9 Funcionamiento del Modelo Hidráulico con desripiado.....	Pág.127
Fotografía N° 10.10 Funcionamiento del Modelo Hidráulico con desripiador.....	Pág.127

### **LISTADO DE GRÁFICOS**

Gráfico N°3.1	Curva de duración General .....	Pág.31
Gráfico N°7.1	Curva de Eficiencia con y sin Desripiador .....	Pág.92
Gráfico N°7.2	Porcentaje de Sedimentos que pasan hacia la rejilla con y sin Desripiador. ....	Pág.92
Gráfico N°7.3	Curva de Eficiencia sin Desripiador .....	Pág.93
Gráfico N°7.4	Curva de Eficiencia con Desripiador .....	Pág.96

## **RESUMEN**

### **MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESRIPIADOR PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADA EN EL RÍO ARTURO.**

El estudio de la modelación e implementación de un desripiador para el control de sedimentos de la obra de toma del Sistema de Riego Tabacundo, ubicada en el río Arturo, comprende detener el material sólido acarreado por el cauce del río. El material que pasa hacia la reja y hacia la galería fue mínimo, el modelo físico cumplió con la similitud geométrica, cinemática y dinámica, bajo el criterio de similitud de Froude.

Se diseñó un canal desripiador con un ángulo de inclinación es de  $10^\circ$  respecto a la dirección del río Arturo que permitió obtener un funcionamiento óptimo, reduciendo la acumulación de sedimentos en la rejilla y que estos pasen hacia el desarenador, evitando así el mantenimiento continuo de las diferentes estructuras hidráulicas de la toma.

**DESCRIPTORES: MODELO HIDRÁULICO /ARRASTRE DE SEDIMENTOS / SIMILITUD DE FROUDE / DESRIPIADOR / SIMILITUD GEOMÉTRICA/ SIMILITUD CINEMÁTICA.**

## **ABSTRACT**

### **DESIGNING AND EXECUTION OF A DEVICE FOR SEDIMENTING CONTROL FOR THE WORK OF TABACUNDO'S IRRIGATION SYSTEM, LOCATED AT ARTURO RIVER.**

The study of the designing and execution of a device for sedimenting control for the work of Tabacundo's irrigation system, located at Arturo river, comprises stopping the solid material carried by the river. The material which passed into the gate and into the gallery was minimal. The physical model fulfilled the geometric similarity, kinematic and dynamic under Froude similarity criterion.

Device channel was designed with an inclination angle of  $10^{\circ}$  to the direction for Arturo River allowing optimal performance , reducing the accumulation of sediments in the grid by letting them pass into the sand trap, avoiding the continuous maintenance of different decision hydraulic structures .

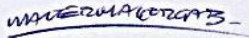
**WORDS: HYDRAULIC MODEL / HAUL OF SEDIMENT / SIMILARITY FROUDE / DEVICE FOR SEDIMENTING / GEOMETRIC SIMILARITY / SIMILARITY KINEMATICS.**



## CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Yo, Walter Santiago Mayorga Benavides, MSc. en calidad de Docente de la Universidad Central del Ecuador, especialidad Inglés, presentado y desarrollado por Héctor Lenin Jiménez Guato, para aprobar el Tema del Trabajo de Graduación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero, que el resumen de este proyecto presenta los parámetros necesarios de gramaticalidad del español al inglés.

En la ciudad de Quito, a los 05 días del mes de Septiembre del 2013



-----  
MSc. Walter Santiago Mayorga Benavides  
Docente , especialidad Inglés  
Universidad Central del Ecuador

# THE REPUBLIC OF ECUADOR

## Army Polytechnic School

In the name of the Republic and by the authority of the Law, we confer upon

**Walter Santiago Mayorga Benavides**

having successfully completed the prescribed postgraduate studies and having met the pertinent legal requirements, the TITLE of

*Superior Diploma of Teaching English as a*

*Second Language*

in witness hereof it is issued the present document.

Quito, Ecuador June 18 th, 2008

Director of Admission and Registration

Vice-Rector of Research and links with the Community

AB. LAURA LÓPEZ ACURIO

ING. MAURICIO CHÁVEZ CH. CRNL. EM

**ENDORSEMENT**

Rector

LIC. RUBÉN MAYA LOOR, M.S.C.  
GENERAL DE BRIGADA

UNITY OF ADMISSION AND REGISTRATION

The title is registered under No. 1578 ,on page No. 525 in the Army Polytechnic School's Registration Book - Postgraduate Studies.  
Sangolquí, June 26, 2008

AB. LAURA LÓPEZ ACURIO

DIRECTOR OF ADMISSION AND REGISTRATION



# **MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESRIPIADOR PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADA EN EL RÍO ARTURO.**

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1.- DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

#### **1.1.1 DEFINICIÓN**

La toma de fondo tipo caucasiana o tirolesa es implementada en ríos de montaña que tienen arrastre de fondo, material flotante como pueden ser hojas, hierbas y de más material que producen un taponamiento en la rejilla.

La construcción de un desripiador es imprescindible en una obra de captación caucasiana a fin de evitar que la grava y la arena que ingresa por la rejilla pase a los canales de conducción y los colmate, tomando en cuenta que el diámetro de las partículas arrastradas hacia el desripiador, dependen directamente de la abertura de la rejilla.

El material depositado en el fondo del canal desripiador es evacuado por una compuerta que estará ubicada al final del canal, el cual deberá tener una pendiente del 3% para que la velocidad del agua en el mismo, sea capaz de arrastrar todo el material y se produzca el lavado del canal desripiador.

De manera general se aportará con resultados de ensayos realizados en el canal desripiador con la utilización de material de fondo y permitiendo la optimización y el mejoramiento del prototipo. Además, servirá para realizar prácticas en la materia de Diseño Hidráulico de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática.

### **1.1.2 ANTECEDENTES**

En el año 2011 los señores Mayra Narváez y Luis Pérez realizaron en el Laboratorio de Hidráulica de la UCE un modelo hidráulico para determinar la mejor inclinación de la rejilla de la Toma Caucasiana del río Arturo del Proyecto Tabacundo.

Los resultados fueron satisfactorios, sin embargo, el transporte de fondo del río en determinadas épocas del año es alto, lo que obliga a los diseñadores ( del Consejo Provincial de Pichincha) a buscar una alternativa para mejorar su funcionamiento, y determinaron que debían captarse los sedimentos antes de llegar a la rejilla. El diseño resulto ser un canal desripiador transversal a la dirección del flujo con un ángulo de inclinación de  $10^{\circ}$ .

### **1.1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS**

El diseño experimentación del canal desripiador permitirá obtener resultados reales de la cantidad de sedimentos que se capta con el canal desripiador, eso permitirá a su vez recomendar o no su implementación y también ver sus puntos de vista al estudio teórico.

El análisis del material de fondo que pasa desde el canal desripiador, hacia la rejilla y hacia la galería, es de carácter cualitativo más no cuantitativo por lo complejo de simular a escala el tamaño de los sedimentos.

Este modelo hidráulico, será además una herramienta didáctica para la enseñanza práctica en las materias relacionadas al estudio e investigación de captación caucasiana.



## **1.2.- OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Implementar un canal desripiador en el modelo hidráulico investigado y construido en 2011 como tesis de grado, en el Laboratorio de Hidráulica, con la finalidad de evaluar la captación de arrastre de sedimentos su función del ángulo de inclinación respecto al cauce del río, de acuerdo al diseño propuesto por el Consejo Provincial de Pichincha.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el volumen de sedimentos que transporta el río y la cantidad de material que pasa desde el canal desripiador hacia la reja y hacia la galería.
- Comprobar de forma cualitativa la eficiencia del lavado del canal desripiador implementado en esta investigación, mediante la apertura y cierre de la compuerta ubicado a la salida del canal hacia el río.
- Determinar la importancia de la implementación de un desripiador, en una obra de captación caucasiana y sus beneficios.

### **1.2.3 HIPÓTESIS**

- ¿La implementación de un desripiador disminuirá la acumulación de sedimentos en la rejilla y la galería, evitando su paso hacia el desarenador?

## **1.3. MARCO TEÓRICO**

Muchos fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos, por lo tanto es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramienta en la obtención de soluciones prácticas aplicadas a problemas de ingeniería y obras hidráulicas en general.

En hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamado “prototipo”, mediante la entrada de cierta información, se procesa y se obtiene información para emplearse en el diseño y condiciones matemáticas definidas.

El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, obliga a que estos deben satisfacer las leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homologas definidas entre ambos sistemas. Cuando se va a realizar una comparación con respecto a la similitud geométrica se definen puntos homólogos sobre los cuales se determinan magnitudes tales como velocidad, caudal, superficies y volúmenes homólogos. La similitud geométrica implica una relación constante para cualquier longitud ( $L$ ), esta relación es denominada “escala de longitudes” ( $e_L$ ).

Aun así en ciertos casos no se tiene una completa similitud geométrica y dinámica del comportamiento del material sólido del río, esto es debido a que dependiendo del factor de escala que se acepte para la modelación, es muy complicado simular un diámetro de partícula en suspensión de prototipo a modelo; es por eso que se acoplan diámetros aproximados a los de prototipo. Por este factor es que a la modelación se la evalúa comparativamente para predecir y simular volúmenes de material sólido. Se recalca que las captaciones que han funcionado mejor son aquellas que fueron analizadas en modelo, antes de su construcción.

El movimiento de un fluido en el modelo y en el prototipo para que sea similar en forma completa, no es suficiente con que se cumpla con las similitudes geométricas y cinemática, es necesario también tomar en consideración la acción de fuerzas sobre las partículas de un fluido, tales como fricción, tensión superficial, gravedad, peso, fuerzas de inercia. Lo que implica que la relación de fuerzas homólogas también debe ser constante, estableciéndose así la “escala dinámica de fuerzas”.

Para un diseño adecuado de una obra de captación no existen métodos analíticos para determinar un funcionamiento garantizado de la toma, debido a que intervienen varios parámetros en el análisis del movimiento del agua y el comportamiento del sedimento que acarrea el río. El método más aceptable para analizar el comportamiento de una captación de cualquier tipo es la modelación física en laboratorio.

problemas de la ingeniería hidráulica, requiere un entendimiento claro y preciso de los principios de similitud.



## **1.4.- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. MÉTODO ANALÍTICO – SINTÉTICO**

Por la existencia de la gran cantidad de sedimentos encontrados en el río Arturo y que avanzan a la obra de toma se realizó esta investigación para verificar si la implementación de un canal desripiador capta el material en su mayor parte, evitando que llegue a la rejilla y su paso al sistema de conducción del proyecto.

#### **1.4.2.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN EXPLORATORIO**

Se realizó una revisión de los resultados obtenidos en la tesis de grados de los señores Mayra Narváez y Luis Pérez en referencia a la cantidad de sedimentos que pasaban hacia la reja y la galería en el modelo hidráulico existente, que no constaba con un desripiador lo que provocaba la acumulación de sedimentos en una proporción del 80% en la reja siendo necesario la construcción de un desripiador debido a que su funcionamiento produce una reducción de sedimentos en un 80%.

#### **1.4.2.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA**

Se construyó el canal desripiador sobre el cauce del río con un ángulo de inclinación de  $10^\circ$  respecto a la dirección del mismo a 15cm de acuerdo a la escala seleccionada 1:04 la misma que presta las mejores condiciones de trabajo, ya que con esta se obtuvo una escala geométrica y de caudales trabajables para obtener los mejores resultados, de acuerdo al diseño del Departamento Técnico del Gobierno de la Provincia de Pichincha, quienes garantizan mayor eficiencia en la recolección de sedimentos .

## **1.5.- RESULTADOS ESPERADOS**

Los resultados de esta investigación serán aplicados en la Obra de Toma en el río Arturo del Sistema de Riego Tabacundo y, servirán como modelo didáctico para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil.

La construcción del canal desripiador demostró que el material que avanza y se deposita en el fondo del mismo es lavado al aperturar una compuerta ubica al final del canal, dando una eficiencia del 78%.

Queda demostrada la importancia de la implementación y construcción del canal desripiador haciendo así referencia a la cantidad de sedimentos que pasaban hacia la reja y la galería en el modelo hidráulico anterior. Se obtuvo como valores que del 56% de sedimentos acumulados en la rejilla se redujo al 21 %; obteniéndose así una eficiencia en la disminución de sedimentos con el canal de desripiador que corresponde al 78%.

El buen funcionamiento del canal desripiador permitió la reducción de la acumulación de sedimentos en la rejilla y que los mismos pasen hacia la galería y hacia el canal desarenador.

## **1.6.- VIALIDAD**

Los parámetros a tomarse en cuenta en la construcción e implementación de un desripiador en el modelo hidráulico anterior construido en el Laboratorio de Hidráulica de la UCE son los siguientes:

### **1.6.1. COSTO DEL MODELO**

Una de las principales preguntas cuando llega el momento de decidir si se realiza un modelo es su costo. De hecho este costo es relativo ya que hay que tomar en cuenta las seguridades adicionales que brinda un estudio de este tipo, de todas maneras su costo es mínimo.

Un pensamiento erróneo suele ser que el estudio en el modelo hidráulico debe ser realizado una vez que se haya culminado la investigación teórica, lo mejor es realizar ambas acciones de una manera simultánea para poder perfeccionar algunos detalles y lograr un estudio más completo.

Los costos de la construcción del desripiador fueron financiados por el autor de esta investigación, el que se presenta a continuación:

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PRESUPUESTO PARA TESIS DE GRADO					
TESIS:	MODELACION E IMPLEMENTACION DE UN DESRIPIADOR PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE RIEGO TABACUNDO, UBICADA EN EL RIO ARTURO.				
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR RUBRO
Nº			Nº	\$	\$
1	RECURSO INSTITUCIONALES UCE				
	Facultad de Ingeniería				200.00
	-Energía Eléctrica, desgaste de las bombas				100.00
	-Espacio físico-otros				80.00
SUBTOTAL UCE					380.00
2	RECURSOS EMPRESARIALES				
	EMPRESA:				300.00
SUBTOTAL EMPRESA					300.00
3	TALENTO HUMANO				
	Tutor de Trabajo de Graduación	meses	2.00	400.00	800.00
	Tribunal de Trabajo de Graduación	meses	2.00	400.00	800.00
	Investigador ( autor del trabajo de grado)	meses	2.00	200.00	400.00
SUBTOTAL RECURSOS HUMANOS					2000.00
4	RECURSOS MATERIALES				
	Computador	hr	500.00	0.65	325.00
	Internet	mes	6.00	20.00	120.00
	Cartucho de tinta B/N Lexmark	u	1.00	25.00	25.00
	Cartucho de tinta a color Lexmark	u	1.00	25.00	25.00
	Resma de papel	u	4.00	4.00	16.00
	MASKING	u	2.00	1.00	2.00
	CINTA SCOTCH	u	2.00	1.00	2.00
	Flash Memory	u	2.00	18.00	36.00
	Cd's	u	10.00	0.50	5.00
	Anillados/Empastados	u	7.00	20.00	140.00
	Impresión Memoria Técnica B/N	hj	1,000.00	0.03	30.00
	Luz eléctrica	mes	6	10.00	60.00
	Teléfono fijo	mes	6.00	10.00	60.00
	Teléfono móvil	recarga electrónica	6.00	10.00	60.00
SUBTOTAL DE RECURSOS MATERIALES					906.00
5	OTROS				
	Materiales de construcción para modelo físico	glb	1.00	120.00	120.00
	Mano de obra para construcción modelo físico	glb	1.00	250.00	250.00
SUBTOTAL OTROS					370.00
TOTAL					3956.00
IMPREVISTOS (5%)					197.80
TOTAL DEL PRESUPUESTO					4153.80

Tabla Nº 1.1 Presupuesto de Tesis de Grado. Elaborado por: Héctor Jiménez

## **CAPÍTULO II: DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO**

### **2.1.- DEFINICIÓN Y TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN**

#### **2.1.1 DEFINICIÓN**

Para suministrar el agua necesaria que debe ser usada en un propósito único o múltiple existen diversas formas:

- 1) Por Almacenamiento. Cuando por la corriente que se usará no transita agua suficiente durante el período de sequía o estiaje como para suplir la demanda, es necesario almacenarla en un embalse durante el invierno para soltarla o distribuirla después del en la época de verano.
- 2) Por Derivación. Cuando la fuente que se usará lleva un caudal suficiente durante el período de demanda y esta puede ser suplida en su totalidad.
- 3) Por Bombeo del subsuelo. Cuando se dispone de una capa freática de buen almacenamiento, suficiente para satisfacer la demanda y cuya recuperación puede lograrse con facilidad.

Desde el punto de vista de la conducción y distribución del agua se presenta el siguiente esquema:

- Por Gravedad. Con la utilización de canales abiertos (revestidos o en tierra) y por tuberías de baja presión; por bombeo con la utilización de tuberías de alta presión; y mixtos por la combinación de los anteriores.
- Sistemas Mixtos. Pueden ser por almacenamiento y gravedad (distribución por canales abiertos o por tuberías); por almacenamiento con bombeo; por bombeo y distribución por gravedad; por bombeo con distribución a presión; por derivación y distribución por gravedad o alta presión; y por almacenamiento y derivación (embalses fuera del cauce del río).

La elección de alguna de estas modalidades o combinaciones depende de muchos factores, en especial del clima de la región, de las características hidráulicas de la fuente de agua (río, lago, pozo), de la topografía, de la demanda, del tipo de captación, de la geología, de la disponibilidad de los materiales de construcción, etc.; factores que el ingeniero estudiará cuidadosamente hasta lograr un sistema de

máxima eficiencia en el uso del agua al más bajo costo posible y que le permita recuperar la inversión.

En el sistema de captación por derivación las partes que lo constituyen son similares a las del sistema de almacenamiento, como son vaso de almacenamiento, presa o dique, aliviadero o vertedor de excedencias, obra de toma y estructuras misceláneas (diques de cierre o fusibles, aliviaderos de emergencia, etc.), y puede no existir la presa o dique de cierre.

### **2.1.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN**

Los diferentes tipos y obras de captación dependen básicamente de la fuente de abastecimiento a captar. A continuación se presenta diferentes tipos de obras.

#### **CAPTACIÓN LATERAL**

Es muy utilizada cuando la fuente de aprovechamiento posee un caudal relativamente grande. El sitio se selecciona donde la estructura quede a una altura conveniente del fondo y, ubicada al final de las curvas, en la orilla exterior, y en lugares protegidos de la erosión o socavación.

#### **CAPTACIÓN POR VERTEDEROS LATERALES**

Es la obra civil que se construye en uno de los flancos del curso de agua, de forma tal, que el agua ingresa directamente a una caja de captación para su posterior conducción a través de tuberías o canales.

La obra de toma se ubica en el tramo del río con mayor estabilidad geológica, debiendo prever además muros de protección para evitar el desgaste del terreno natural.

La toma se ubica lateralmente a la presa o en cualquier punto del perímetro del vaso de agua.

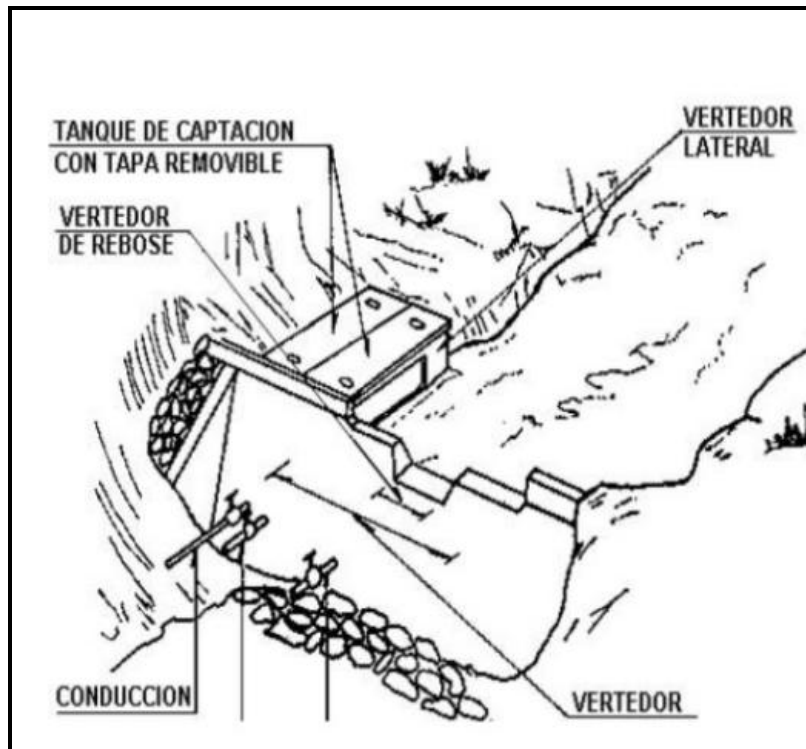


Fig.Nº2.1 Captación Vertedero Lateral. Ing. Edgar Gustavo Sparrow. Universidad Nacional de Santander. noviembre 2008.

La captación a través de vertedero lateral es recomendada cuando la captación en curso superficial está expuesta a un impacto de consideración debido a cantos rodados, troncos de árboles, etc., arrastrados por las crecidas. También en el caso de algunos ríos que traen mucha arena durante las crecidas violentas, el material depositado puede cubrir el dispositivo de captación en corto tiempo.

Un vertedero lateral consiste en una escotadura practicada sobre la cresta de un canal prismático que está orientada en sentido paralelo a la corriente y por encima de la cual fluye el agua cuando se ubica de una manera tal que se permite un gradiente hidráulico en sentido normal a la cresta del vertedero. Experimentalmente se ha encontrado que la capacidad de descarga de un vertedero normal a la dirección de la corriente es mucho mayor que la capacidad de descarga de un vertedero lateral.

### **GALERIA FILTRANTE**

Son captaciones de tipo horizontal tipo túnel construida en el suelo con la finalidad de captar aguas subterráneas, Es considerado como galerías a los



sistemas de captación de aguas sub-superficiales ubicadas en los lechos de los ríos o sus márgenes por medio de drenes o bóvedas.

La captación con galerías esta fundamentalmente indicada cuando se desea obtener caudales importantes de agua en zonas próximas a los ríos o lagos. Pueden construirse en rocas metamórficas, volcánicas y, en menor grado, sedimentarias consolidadas, siendo la mayor aplicación en rocas no consolidadas, y particularmente en aquellas ubicadas en los lechos arenosos de ríos, alimentados directamente por una corriente superficial de agua de buena calidad.

En general, las galerías filtrantes tienen tres tramos que se mencionan a continuación:

- Un tramo subterráneo donde se capta el agua de los acuíferos existentes.
- Un segundo tramo a tajo abierto donde también se capta agua por filtración de los acuíferos.
- Termina en una cámara de captación donde generalmente se instalan las bombas hidráulicas para extraer el agua acumulada.

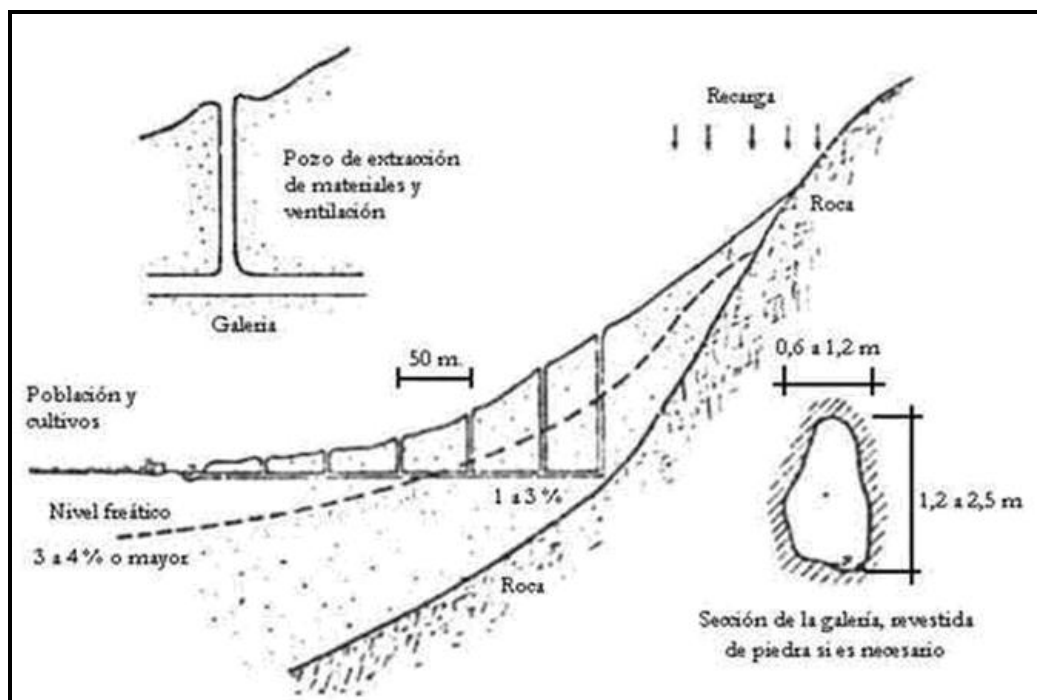


Fig.Nº2.2 Galería Filtrante. Manual de diseño de galerías filtrantes. Centro

Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, 2002.

## **CAPTACIÓN SUMERGIDA TIPO DIQUE-TOMA**

Es la obra civil que consiste en un dique de represamiento construido transversalmente al cauce del río, donde el área de captación se ubica sobre la cresta del vertedero central y está protegida mediante rejas que permiten el paso del agua.

Se diseña cuando las corrientes de agua son de escaso caudal y las secciones transversales del río en el sitio donde se proyecta la bocatoma son de poco ancho (0 a 10 m), es conveniente proyectar un dique con el objeto de garantizar el caudal que se debe captar,

En el diseño de un dique - toma se tienen en cuenta los siguientes aspectos: En el área de captación dada, en la zona de rejilla, no se debe permitir el paso de material grueso; esto se logra dimensionando adecuadamente los espacios entre las barras de la rejilla de captación.



Fig.Nº2.3 Captación tipo Toma – Dique

<http://www.biw.fhd.edu/alumni/2002/stehle/ppttirolerwehr/index.htm>.ESPY

YUMBO EICE – 2006

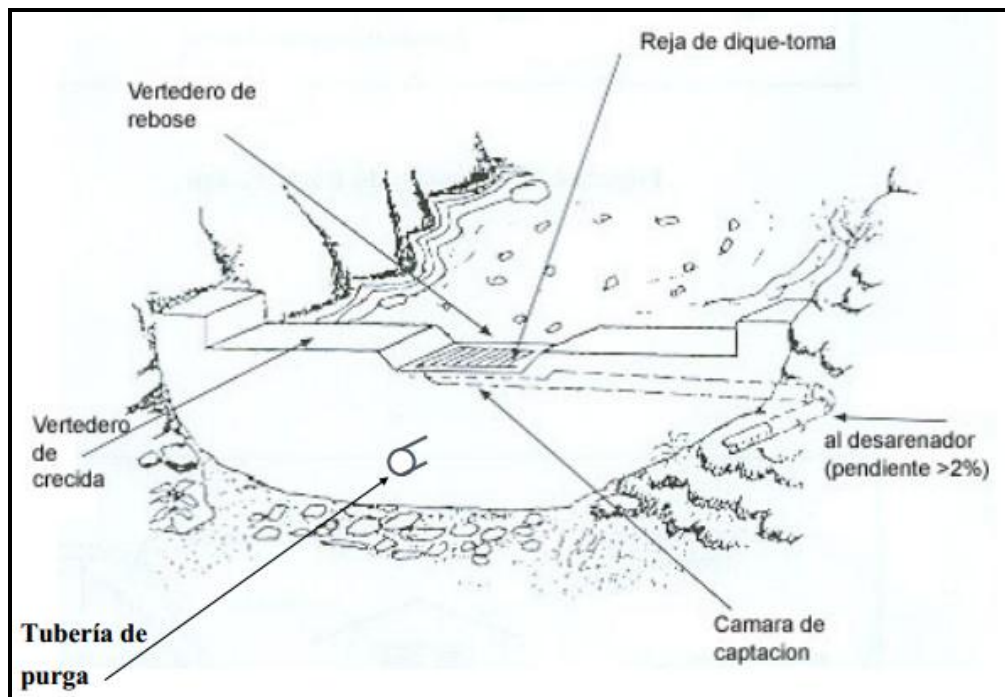


Fig.Nº2.4 Captación tipo Toma – Dique (Sección Transversal). Azevedo J.M & Acosta G., Manual de Hidráulica, Harper & Row Latinoamericana, México, 1981.

## 2.2.- ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA OBRA DE CAPTACIÓN.

Debido a la interacción estructura – naturaleza, son varios los aspectos necesarios para el dimensionamiento de una obra de captación, entre los principales podemos mencionar los siguientes:

### ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Los estudios topográficos permitirán la determinación de la morfología del terreno y del cauce del agua; la selección del punto donde el agua va a ser captada es un factor muy importante ya que interviene en la relación entre la cantidad de sedimentos, agua que entraran en el sistema de captación.

#### Morfología

- Suave o débil: menor al 10%
- Moderada: del 10 al 25%

- Semiabrupta: del 25 al 50%
- Abrupta: del 50 al 75%
- Muy abrupta: más del 70%

## **ESTUDIOS GEOLÓGICOS**

Se debe realizar una inspección geológica del sitio donde será emplazada la captación para determinar las posibles fallas geológicas, zonas de deslizamientos y de hundimientos, para reunir las condiciones adecuadas de manera que el proceso de erosión no sea significativo y no influya en la estabilidad de la estructura de derivación.

El informe geológico menciona que el basamento profundo está conformado por rocas metamórficas paleozoicas que afloran aguas abajo del río Arturo. El substrato volcánico más antiguo sobreyace a las rocas metamórficas y se encuentra constituido por una secuencia de lavas de naturaleza básica a intermedia con diferentes texturas de tobas, aglomerados y lavas masivas. Las tobas se presentan compactas y/o soldadas con una dureza similar a la de las lavas. Sin embargo, debido a la alteración hidrotermal, meteorización o fracturación tectónica se encuentran debilitadas.

En el área aflora una roca masiva, se trata de andesita piroxénica de grano fino, de color gris oscuro verdoso, de regular dureza, con fracturas rellenas y presencia de humedad. Rodeada de una toba medianamente aglomerática muy meteorizada, con características de un suelo firme pero con una condición meta estable (luego de secarse al ambiente y rehumedecerse se dispersa y se pierde su estructura). Toda el área está cubierta de ceniza volcánica meteorizada de color gris oscuro.

**Según INERHI, INYCONSULT y PYPSA, Informes definitivos sobre, Estudios Geológicos-Geotécnicos. 1983.**

## **ESTUDIOS GEOTÉCNICOS**

**Según INERHI, INYCONSULT y PYPSA, Informes definitivos sobre Cartografía, Topografía, Ensayos de Campo y de Laboratorio, Estudios Geológicos-Geotécnicos. 1983**

Los estudios geotécnicos deberán determinar las condiciones de estabilidad y resistencia admisible de los suelos, para considerar las precauciones necesarias en el diseño de las obras civiles.

El sitio de la toma determinado mediante las coordenadas 829323,00/9619,46, está en el río Arturo a 3425msnm, se ubica en el fondo de un valle encañonado. El lugar se caracteriza por tener paredes semiempinadas algo inestables; el fondo del valle es amplio y plano, se observan depósitos aluviales gruesos en el cauce activo y una terraza de flujos de escombros en la margen izquierda, que están cubriendo un basamento rocoso.

El sitio propuesto para la toma está dentro del lecho que tiene un gradiente del 9%, en la margen derecha se encuentran aflorando escombros de avalancha volcánica (Hy), compuestos por ARENA de color gris con tamaño de grano entre medio y grueso, con grava y presencia ocasional de cantos y bloques. Los coluvios y derrubios que se ubican al pie del talud tienen una textura similar a los materiales de la avalancha pero con trazas de limo.

En la margen izquierda se encuentra un afloramiento de materiales que corresponden a una avalancha antigua, están compuestos de ARENA con limo y grava, presencia ocasional de cantos y es muy compacto. Abajo por esta misma margen, se tiene un coluvio antiguo conformado por ARENA gruesa, con gravas y la presencia frecuente de cantos; igualmente es bastante compacto.

En el reconocimiento del valle se ha podido discriminar el basamento volcánico aflorante en las paredes del encañonado, son principalmente, flujos de lava dacítica, lavas andesíticas y morrenas antiguas. En el fondo del valle se identificaron al menos tres relictos de escombros provenientes de flujos aluviales.

Fuera del encañonado se tiene, en la margen derecha, una vegetación arbustiva mientras que en la margen izquierda, predomina una vegetación arbórea muy tupida.

## ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

**Según el Estudio Hidrológico, Informe Final Tomo I, realizado por el Ing. Paúl Torres MSc. e Ing. Cristian Coello MSc, Noviembre 2008**

Con los estudios hidrológicos se conocerá la disponibilidad del recurso hídrico mediante la mediación de caudales o aforos en la fuente en diferentes épocas del año, uno imprescindible en época de estiaje y otros complementarios y determinar los valores de caudal máximo, mínimo y medio de la fuente, para así poder garantizar el servicio y evitar problemas relacionados con los niveles mínimos que aseguren la captación y de los máximos para que no peligre la estabilidad de la obras de captación.

Los resultados de los estudios hidrológicos fueron extraídos del tomo IV, "Estudios hidrológicos y de derechos de Agua", elaborado por INERHI 1978, en el que se utilizan los registros hidrométricos de las estaciones para el periodo 1971 – 1977, cuyos resultados son los que se presentan a continuación.

Río/Estación	área de Drenaje (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Específico (l/s/Km <sup>2</sup> )
Azuela AJ San Pedro	13	1.09	84
San Pedro AJ Azuela	16	0.46	29
Boquerón AJ Azuela	5.2	0.47	89
Arturo AJ Azuela	7.3	0.46	63
Montoneras AJ Azuela	4.2	0.28	67
Total de los ríos	45.7	2.76	60

Tabla N° 2.1. Estudio Hidrológico Año 1978. **Fuente: INERHI, 1978**

Según los estudios de COHIEC estos resultados resultan más confiables comparados con los obtenidos por el INERHI, obteniendo rendimientos más altos especialmente para la cuenca de San Pedro, sus resultados se indican a continuación.

Río/Estación	área de Drenaje (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Específico (l/s/Km <sup>2</sup> )
Azuela AJ San Pedro	13	0.9	69
San Pedro AJ Azuela	16	1.1	69
Boquerón AJ Azuela	5.2	0.35	67
Arturo AJ Azuela	7.3	0.49	67
Montoneras AJ Azuela	4.2	0.28	67
Total de los ríos	45.7	3.12	68

Tabla N° 2.2 Estudio Hidrológico Año 1983. **Fuente: INECCEL, 1983 Estudio Hidrológico del INERHI, 1989**

INERHI presenta los resultados para cuatro de los cinco ríos en estudio, los resultados se muestra en la siguiente tabla.

Río/Estación	área de Drenaje (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Específico (l/s/Km <sup>2</sup> )
Azuela AJ San Pedro	13	0.96	74
San Pedro AJ Azuela	16	1.01	63
Boquerón AJ Azuela	5.2	0.34	65
Arturo AJ Azuela	7.3	0.34	47
Total de los ríos	41.5	2.65	64

Tabla N° 2.3 Estudio Hidrológico Año 1989. **Fuente: INERHI, 1989 Fuente: Estudio Hidrológico PYPSA-UNICONSULT, 1983**

La consultora PYPSA incorpora en el análisis del río Azuela un aporte del 26% de aguas subterráneas teniendo un rendimiento alto en comparación con las demás, así mismo la cuenca del río San Pedro mantiene rendimientos bajos, tal como lo indica la siguiente tabla:

Río/Estación	área de Drenaje (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Específico (l/s/Km <sup>2</sup> )
Azuela AJ San Pedro	13	1.29	99
San Pedro AJ Azuela	16	0.5	31
Boquerón AJ Azuela	5.2	0.45	87
Arturo AJ Azuela	7.3	0.42	58
Total de los ríos	41.5	2.66	64

Tabla N° 2.4 Estudio Hidrológico Año 1983. **Fuente: PYPSA, 1983**

**Fuente:** El presente estudio manifiesta que de acuerdo a la visita de campo en los ríos orientales y según los aforos realizados se constató que los suelos presentan una capacidad de infiltración importante.

#### **Información Hidrológica del Consejo Nacional de Recursos Hídricos, 2002**

El CNRH realiza una evaluación hidrológica de los ríos orientales que serán adjudicados al proyecto Tabacundo, los resultados de este estudio se presenta a continuación:

Río/Estación	área de Drenaje (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Específico (l/s/Km <sup>2</sup> )
Azuela AJ San Pedro	13	1.5	115
San Pedro AJ Azuela	16	1.1	69
Boquerón AJ Azuela	5.2	0.3	58
Arturo AJ Azuela	7.3	0.42	58
Total de los ríos	41.5	3.32	80
Caudal medio concesionado al HCPP para Tabacundo		2.71	

Tabla N° 2.5 Estudio Hidrológico Año 2002. **Fuente: CNRH, 2002**



## Comparación de Resultados

De todos estos estudios se puede determinar cuál de ellos presenta mayor confiabilidad en los resultados,

### Resultados generales de estudios recopilados (m<sup>3</sup>/s)

Río	INERHI	INECEL	PYPSA	CNRH	HÉCTOR JIMÉNEZ
Azuela	1.09	0.9	0.96	1.5	
San Pedro	0.46	1.1	1.01	1.1	
Boquerón	0.47	0.35	0.34	0.3	
Arturo	0.46	0.49	0.34	0.42	0.39
Montoneras	0.28	0.28			
Total	2.76	3.12	2.65	3.32	

Tabla N° 2.6 Estudio Hidrológicos. **Resultados Generales.** Elaborado Por: Héctor Jiménez

### Cota 3500 m.s.n.m.

En general los resultados manifiestan una diversidad de valores de caudal. La cuenca del río Azuela es la de mayor aportación hídrica, cuya contribución promedio es mayor 0.90 m<sup>3</sup>/s. El río San Pedro presenta la mayor diversidad de resultados, desde los 0.46 m<sup>3</sup>/s hasta los 1.10 m<sup>3</sup>/s evaluados por el CNRH en el 2002. Para los otros ríos, sea el Arturo, Boquerón y Montoneras todos los estudios dan resultados de menos de 0.5 m<sup>3</sup>/s.

## ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS

Este estudio permitirá conocer los sedimentos transportados por el cauce tanto en cantidad como calidad, así mismo el caudal líquido requerido para el transporte de sólidos.

Con los estudios sedimentológicos se obtendrá información del contenido normal de sólidos tanto en material de fondo como en suspensión, además del arrastre de sedimentos durante las crecidas. El transporte sólido dependerá de las características de los ríos; el conocimiento de la variabilidad del transporte sólido y de su granulometría son de gran importancia para el diseño de la toma.

Una vez obtenida la información necesaria mediante los estudios preliminares para la implantación de una obra de captación, son varias las condiciones de diseño que constan a continuación:

El caudal de la fuente debe ser mayor que el caudal de diseño para poder captar permanentemente este caudal y poder contar con el caudal ecológico.

Captar el mínimo de sedimentos y disponer de medios apropiados para su evacuación.

Su ubicación debe presentar condiciones favorables desde el punto de vista estructural como constructivo.

Mantener aguas abajo el caudal líquido requerido para el transporte de sólidos y así evitar la sedimentación.

### **2.3.- CARACTERÍSTICAS DE UNA TOMA DE FONDO (TIPO CAUCASIANA O TIROLESA)**

#### **TOMA DE FONDO TIPO CAUCASIANA O TIROLESA**

Son tomas cuyas estructuras de captación se encuentran dentro de la sección del azud, en un espacio dejado en él, protegido por una rejilla que impide el ingreso de materiales gruesos. Estas tomas no son recomendables en ríos donde el arrastre de sedimentos es intenso, ya que podrían causar rápida obstrucción de las rejillas.

Se construyen en el fondo del cauce natural o muy próximo al mismo para reducir su impacto sobre las corrientes torrenciales que transportan, durante las avenidas, abundantes arrastres de fondo. Pueden disponer de uno o de dos sistemas de rejillas colocadas, generalmente, paralelas al flujo. Su función es retener, en uno o dos escalones, los sólidos de mayor tamaño, que el espaciamiento entre las rejas no permiten el ingreso de los mismos y posibilitar el paso del agua, aun cargada con sólidos menores, piedras que puedan pasar y sedimentos más finos, a un canal o galería ubicado bajo las rejillas. La galería descarga, a su vez, a un canal de salida provisto, de un desarenador.

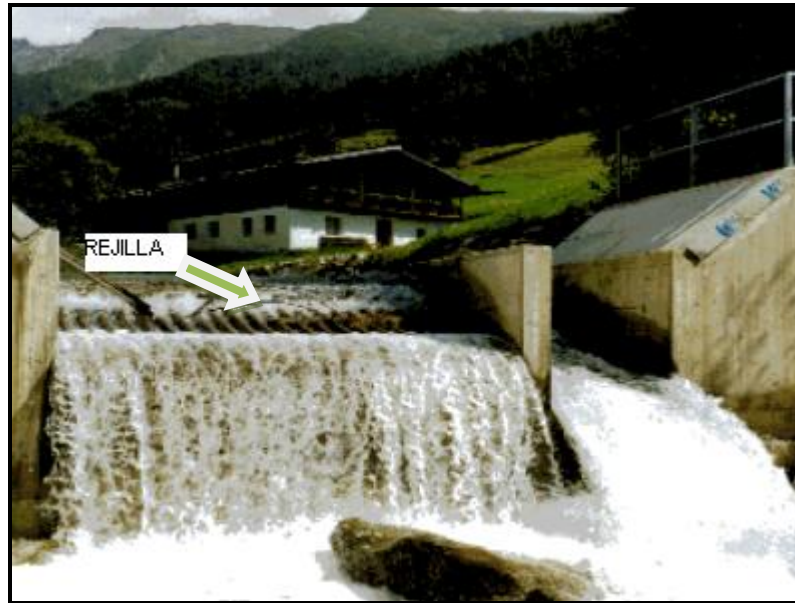


Fig. N°2.5 .Vista, desde aguas abajo, de un tomadero tipo Tirol en Alemania  
(tomado de: <http://www.biw.fhd.edu/alumni/2002/stehle/ppt-tirolerwehr/index.htm>)

Esta estructura se implanta principalmente en los lechos de los ríos de montaña ya que estos transportan pocos sedimentos en suspensión, y mayor arrastre de material de fondo como son la grava, el canto rodado. Esta toma se la puede emplear en los cauces que tengan pendientes longitudinales fuertes.



Fig. N°2.6 .Vista, desde aguas abajo, de un tomadero tipo Tirol en Cochabamba.  
Río Tquipaya. Proyecto Misicuni

## CAPÍTULO III: ELEMENTOS DE UNA TOMA DE FONDO

### 3.0.- REJILLA

Los ríos de montaña tienen las siguientes características:

1. Pendientes fuertes del 10% o más
2. Crecientes causadas por aguaceros de corta duración y que llevan gran cantidad de sedimentos.
3. Grandes variaciones de caudal provenientes de nevados
4. Pequeño contenido de sedimentos finos y agua relativamente limpia.

El caudal de diseño que ingresa es de  $1.50 \text{ m}^3/\text{s}$ , es captada a través de una rejilla que se encuentra en la cota 3448 m.s.n.m., colocada transversalmente a la corriente y sobre la cámara de captación, esta rejilla estará dispuesta de barrotes rectangulares la sección fue modificada en función de la cantidad de sedimentos que arrastra el cauce del río Arturo, los mismos que son fáciles de limpiar, no permite que se obstruya con el material de arrastre, no se deforma, y , permitir el paso del caudal de diseño, con un área de rejilla cuyas dimensiones son técnicamente adecuadas, estos barrotes están colocados paralelamente a la dirección del río.

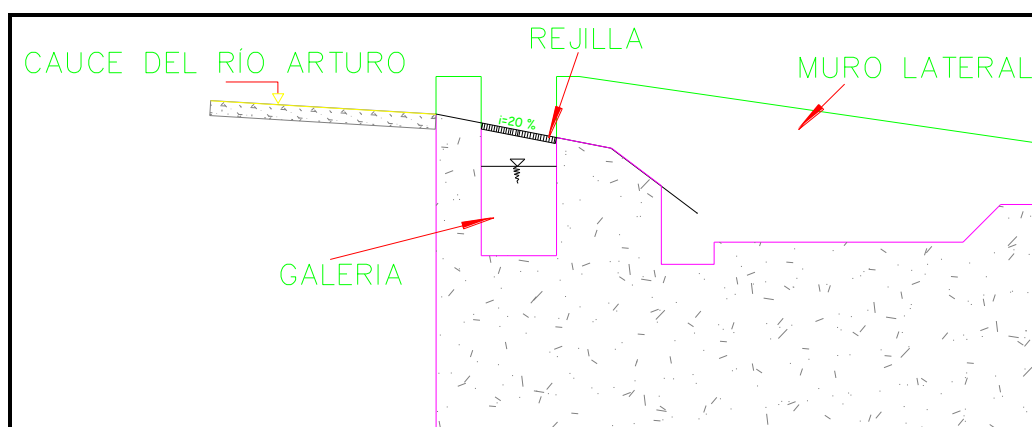


Fig. N° 3.1. Perfil de la toma caucasiana construida en la tesis anterior en el laboratorio de hidráulica. Elaborado Por: Jiménez Héctor



Fig. N° 3.2 Vista del tomadero de “Dos Aguas” vertiendo sobre las rejillas por el exceso del caudal de la avenida respecto a la capacidad de la toma. Cortesía de Heredamientos de Argual y Tazacorte. Isla de La Palma



Fig. N° 3.3 Vista de tomadero con rejillas de fondo en Sipit, Arunachal Pradesh, India (tomado de: [http://www.ciccp.es/biblio\\_digital/pdf/20118](http://www.ciccp.es/biblio_digital/pdf/20118))

### 3.1.- COMPUERTA

#### Introducción

Las compuertas son barreras móviles que se insertan en estructuras de hormigón o albañilería de piedra, en canales, embalses y estanques, con el objetivo de controlar el caudal de agua que se quiere derivar desde la fuente principal.

Se pueden identificar tres posiciones típicas de las compuertas:

- **Totalmente abiertas**, en cuyo caso el agua fluye en escurrimiento libre como si la compuerta no existiera.
- **Parcialmente abiertas**, caso en que el comportamiento es como un orificio.
- **Totalmente cerradas**, en que no hay flujo.

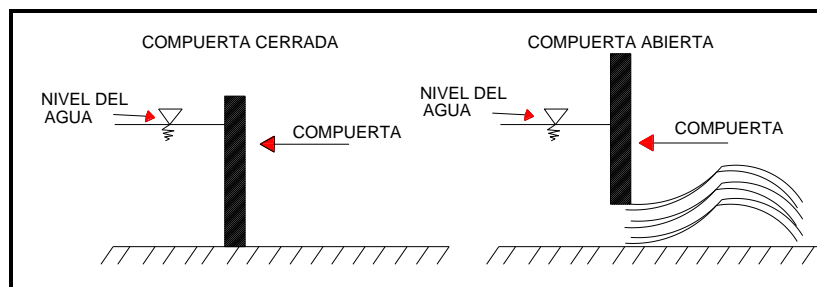
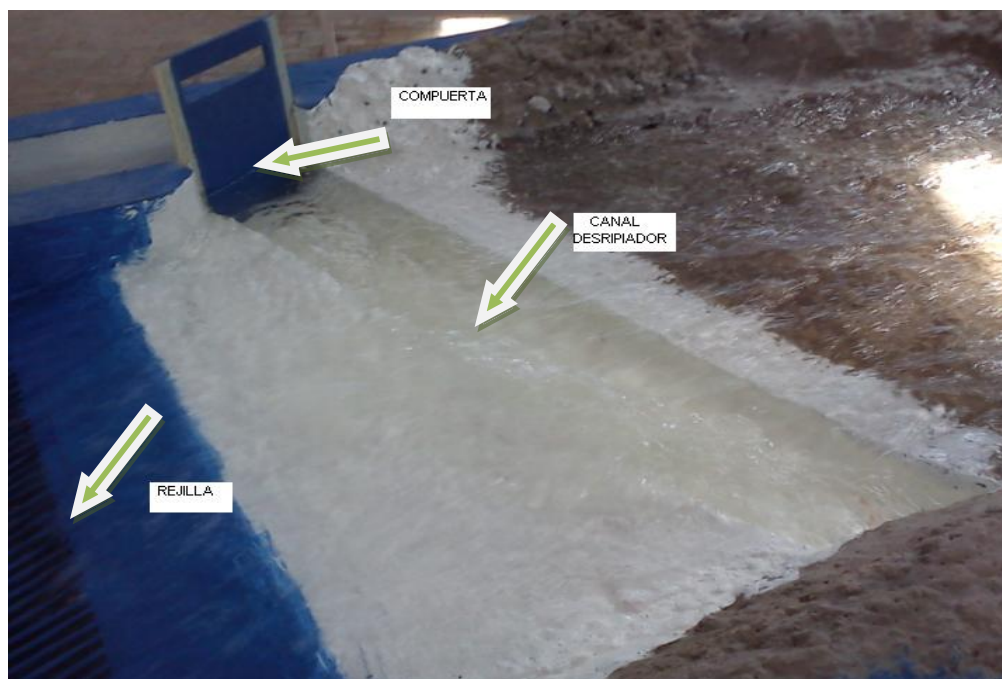


Fig. N° 3.4. Perfil de la compuerta del desripiador.



Fotografía. N° 3.5. Compuerta de limpieza del canal desripiador

### 3.1.1.- GALERÍA

Una vez que el flujo ha superado la rejilla, se deposita en un canal recolector que se constituye en un cámara de captación, la que tiene la función de recibir y transportar el caudal que ingresa por la rejilla, y los sedimentos que pasan a través de ella; por lo tanto la sección transversal del canal colector debe ser dimensionada para evacuar el caudal de diseño de la toma.

El chorro de agua al llegar a la cámara de captación produce un efecto similar al resalto hidráulico debido a que alcanza su máxima energía cinética y por lo tanto su mínimo tirante o bien por el impacto que produce sobre las paredes de la galería. Este efecto producirá turbulencia, variaciones oscilantes en el nivel de agua, por lo que el agua tendrá un proceso de aireación, este fenómeno puede dar lugar a que los niveles de agua superen los límites físicos de la cámara, por lo que lo indicado es muy importante en el dimensionamiento de la galería.

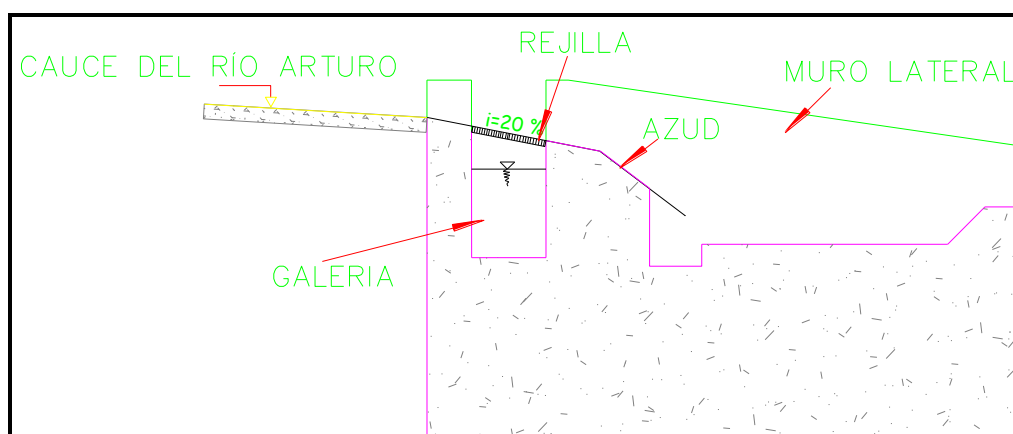


Fig. N°3.5 Perfil de la galería construida en la tesis anterior en el laboratorio de hidráulica. Elaborado Por: Jiménez Héctor

### 3.1.2.- INFRAESTRUCTURA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS

#### DESRIPIADOR

En este tipo de captaciones, al ser el agua proveniente de ríos de montaña y tener arrastre de material flotante como puede ser hojas, hiervas y demás material que puede producir un taponamiento en la rejilla, es necesario construir un desripiador.



### 3.1.3.- CAUDALES DE DISEÑO: MÍNIMO, DE OPERACIÓN Y MÁXIMOS

Según el estudio hidrológico proporcionado por el Consejo Provincial de Pichincha, para la obtención de los caudales, se utilizaron técnicas de similitud hidrológica en cuencas hidrográficas con similares características físicas, climáticas e hidrológicas de las que se disponía información continua y confiable, esto se realizó debido a la poca información histórica del río Arturo.

El caudal máximo generado en un periodo de 40 años (1965 – 2005) es:

$$Q \text{ máx.} = 1,73 \text{ m}^3 / s$$

El caudal medio generado en un periodo de 40 años (1965 – 2005) es:

$$Q \text{ med} = 0,39 \text{ m}^3 / s$$

El caudal mínimo generado en un periodo de 40 años (1965 – 2005) es:

$$Q \text{ min} = 0,09 \text{ m}^3 / s$$

**FUENTE:** Gobierno de la Provincia de Pichincha Estudios Hidrológicos complementarios de las cuencas de los ríos que aportan para el proyecto de riego Cayambe-Tabacundo, Caudales medios generados (1965-2005).

Una obra hidráulica se proyecta para captar un cierto caudal que se lo denomina caudal de diseño se lo obtiene de la curva de duración. Dependiendo para las necesidades que se vayan a cubrir, se recomienda los siguientes rangos:

Agua Potable	Q=90% al 97%
Plantas Eléctricas	Q=75% al 95%
Riego	Q=70% al 90%



El agua que será captada del cauce del río Arturo es para riego, será conducida por medio de tuberías de acero hacia un túnel, el que posteriormente tomara el agua de los ríos Boquerón y San Pedro, este caudal será conducido al embalse en la laguna de San Marcos, posteriormente el agua represada en la laguna servirá para el Proyecto de Riego Cayambe – Tabacundo y para el sistema de agua Potable Pesillo–Imbabura.

## Ubicación del Proyecto de Riego Tabacundo

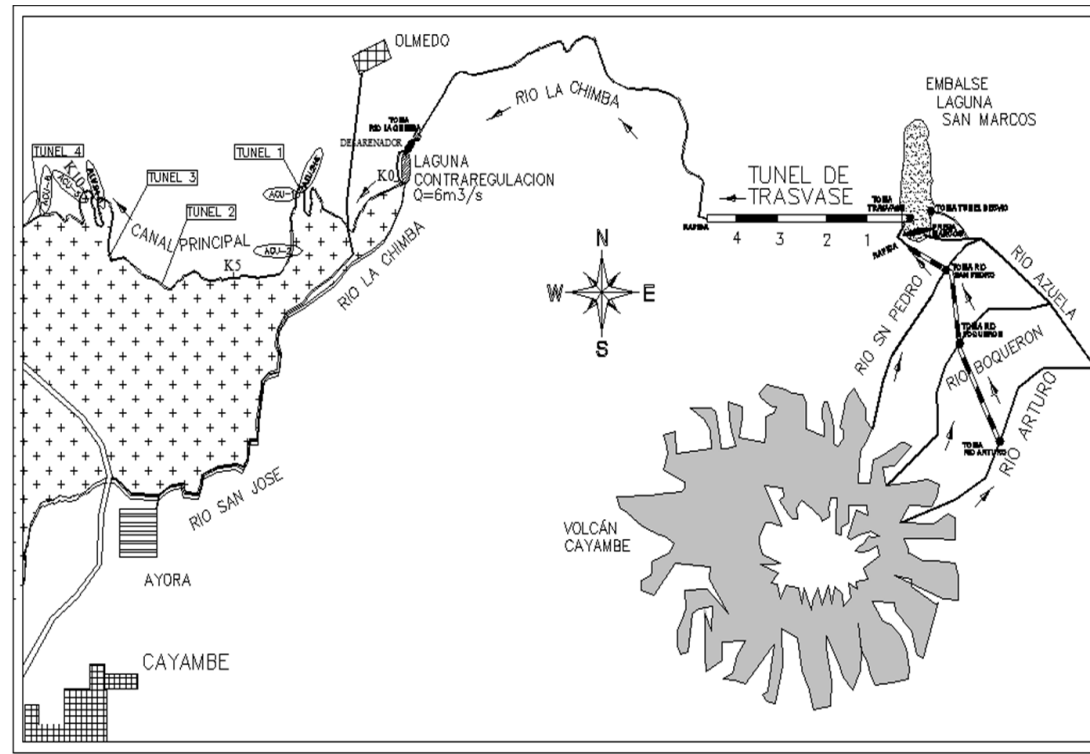


Figura N° 3.10 Ubicación del proyecto de riego Cayambe-Tabacundo, Fuente: Gobierno de la provincia de Pichincha.

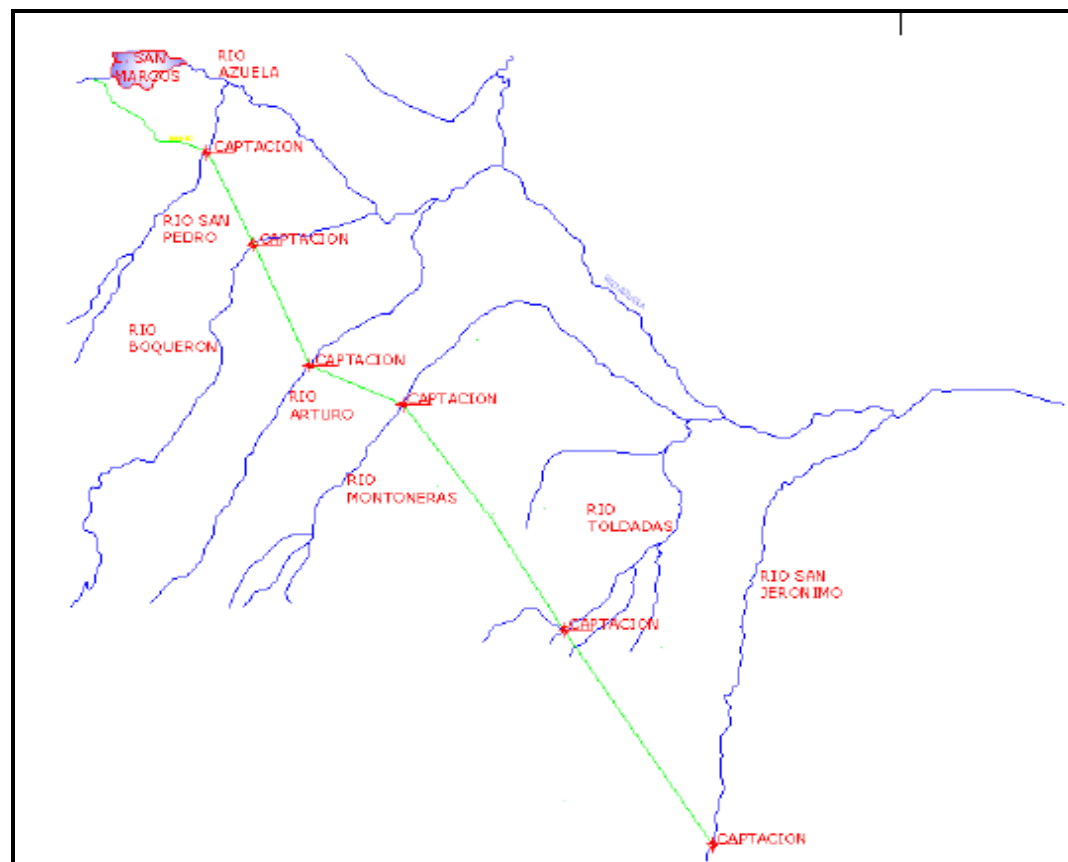


Figura N° 3.11 Ubicación de los sitios de Captación del proyecto de riego Cayambe-Tabacundo, Fuente: Gobierno de la provincia de Pichincha.

La curva de duración resulta del análisis de la serie histórica de caudales generados, medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua. Si la serie histórica es confiable, entonces, la curva de duración es representativa y puede utilizarse para pronosticar el régimen que se presentara durante la vida útil de la captación.

A continuación se presenta la información hidrológica y la curva de duración general.

% de Probabilidad	Caudal (m³/s)
100%	0.09
95%	0.18
90%	0.2
85%	0.22
80%	0.24
75%	0.26
70%	0.27
65%	0.28
60%	0.31
55%	0.33
50%	0.34
45%	0.37
40%	0.39
35%	0.4
30%	0.45
25%	0.49
20%	0.54
15%	0.58
10%	0.64
5%	0.74
1.15%	1.5
0%	1.73

Tabla N° 3.1. Tabla de Probabilidad de recurrencia

Fuente: Gobierno de la provincia de Pichincha Estudios Hidrológicos complementarios de las cuencas de los ríos que aportan para el proyecto de riego Cayambe - Tabacundo Tomo I, pág. 39.

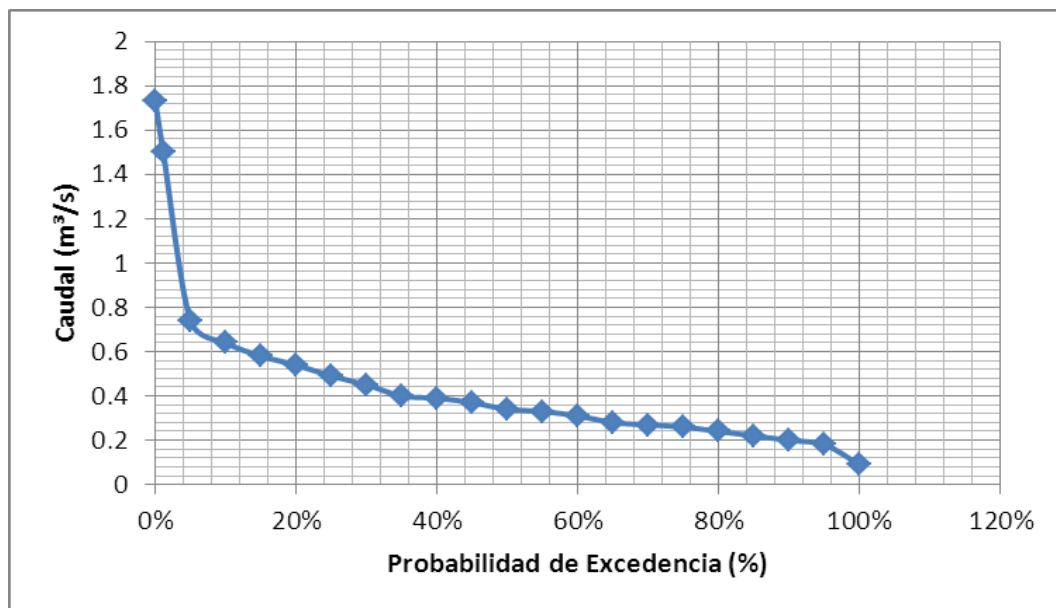


Gráfico N° 3.1. Curva de duración General Fuente: Gobierno de la provincia de Pichincha Estudios Hidrológicos complementarios de las cuencas de los ríos que aportan para el proyecto de riego Cayambe - Tabacundo Tomo I, pág. 39.

El caudal que se captará del río Arturo no es utilizado directamente para el sistema de riego, ni el de agua potable mencionados, sino más bien sirve para garantizar el nivel del embalse de la laguna San Macos.

Sin embargo al tratarse principalmente de un proyecto de riego el caudal de diseño se lo debería considerar.

$$Q \text{ diseño riego} = Q_{85\%} \text{ (recomendado)}$$

$$Q_{85\%} = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s}$$

El caudal de diseño para las estructuras que conforman la bocatoma adoptado por el diseñador es de.

$$Q_{\text{diseño}} = 1,50 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = Q_{1.15\%}$$

Entonces al ser el caudal de diseño mayor al caudal aprovechable, el caudal de operación de la toma será el caudal medio disponible en el sitio de la implantación de la toma del río Arturo.

$$Q \text{ operación} = 0.39 \text{ m}^3 / \text{s}$$

A continuación la tabla 3.2 contiene los caudales

DESCRIPCION	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Caudal Máximo	Q máx.	1,73	m3/s
Caudal Medio	Q med	0,39	m3/s
Caudal Mínimo	Q min	0,09	m3/s
Caudal Ecológico	Q ecol	0,04	m3/s
Caudal diseño recomendado	Q85%	0,22	m3/s
Caudal diseño recomendado	Q1.15%	1,5	m3/s
Caudal Operación	Q operación	0,39	m3/s

Tabla N° 3.2 Tabla de Caudales

**Elaborado por:** Jiménez Héctor

## **CAPÍTULO IV: ESTUDIOS DE LOS MATERIALES SOLIDOS**

### **4.1.- INTRODUCCIÓN**

Los sedimentos tienen su origen en los fenómenos de precipitación y escorrentía, los mismos que producen erosión de las cuencas las mismas que generan cantidades considerables de materiales que llegan a los ríos.

Debido a la deforestación y al uso irracional de las tierras de cultivo, estos procesos son acelerados, produciéndose un arrastre cada vez mayor de sedimentos por los cauces naturales, debido a su pendiente y velocidad, produciéndose en otras zonas relativamente planas una deposición del mismo.

Cuando se diseñan y construyen obras para el aprovechamiento hidráulico de las aguas de los ríos es imposible evitar captar las aguas con la presencia de mayor o menor cantidad de sedimentos, ya sea el arrastrado por el fondo o el de suspensión. Es por esto imprescindible tomar las previsiones apropiadas para evitar los inconvenientes causados por los sedimentos en los diferentes tipos de aprovechamientos hídricos.

### **4.2.- TAMAÑO DE PARTÍCULAS**

Según el U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation, se tiene:

- a. Diámetro de sedimentación: Es el diámetro de una esfera con la misma densidad de la partícula, que cae con la misma velocidad terminal uniforme (velocidad de caída), en el mismo fluido y a la misma temperatura.
- b. Diámetro de Tamiz: Apertura mínima de una malla de tamiz a través de la cual pasa la partícula.
- c. Diámetro nominal: Es el diámetro de una esfera con igual volumen.

El diámetro del tamiz y el diámetro de sedimentación son los de mayor uso, normalmente las arenas se miden por su diámetro de tamizado y los limos y arcillas por su diámetro de sedimentación.

Según la American Geophysical Unión. Tenemos la siguiente clasificación:

GRUPO		TAMAÑO
Canto Rodado	Entre	4000 a 250 mm
Guijarro	Entre	2600 a 64 mm
Grava	Entre	64 a 2 mm
Arena	Entre	2000 a 62 $\mu$
Limo	Entre	62 a 4 $\mu$
Arcilla	Entre	4 a 0,24 $\mu$

en donde  $\mu = 0,001$  mm

Tabla N° 4.1 Tabla de Tamaño de Sedimentos

#### 4.3.- FORMA DE PARTÍCULAS

Junto con el tamaño, algunas de sus propiedades físicas, son la redondez, la esfericidad y el factor de forma.

a. Redondez: Se define por la relación entre el radio medio de curvatura de las aristas de las partículas y el radio de la circunferencia inscrita en el perímetro de área máxima de proyección de la partícula.

b. Esfericidad: Relaciona el área superficial de una esfera de volumen equivalente y el área superficial de la partícula.

c. Factor de forma ( F.F. ) : La determinación de la esfericidad y la redondez requieren de métodos largos y de técnica rigurosa, por lo que, frecuentemente se usa un parámetro simplificado denominado “Factor de Forma”, definida por :

$$F.F = \frac{c}{\sqrt{(a * b)}} \quad (4-1)$$

Donde a, b y c son las longitudes de los ejes previamente mencionados.

Este perímetro puede utilizarse juntamente con el diámetro nominal y el número de Reynolds para expresar la velocidad de caída de las partículas.



## 4.4 DENSIDAD DE PARTICULAS

### 4.4.1 Densidad de Partículas

Para una partícula sólida, es la relación entre la masa que posee la partícula y su volumen.

$$\rho_s = \frac{M}{\forall} \quad (4 - 2)$$

$\rho_s$  = densidad de la partícula                      SI [Kg/m<sup>3</sup>]

**M** = masa [Kg]

$\forall$  = volumen [m<sup>3</sup>]

SI = sistema internacional de unidades

ST = sistema técnico de unidades

### 4.4.2 Peso específico

Es la relación entre el peso de la partícula y su volumen, o lo que es igual, el producto de la densidad y la aceleración de la gravedad.

$$\gamma_s = \frac{P}{\forall} \quad (4 - 3)$$

$$\gamma_s = g * \rho_s \quad (4 - 4)$$

$\gamma_s$  = peso específico de la partícula                      [N/m<sup>3</sup>] ST [Kg/m<sup>3</sup>]

**P** = peso de la partícula                      [N]

**G** = aceleración de la gravedad                      [m/s<sup>2</sup>]

Material	$\gamma_s$ [N/m <sup>3</sup> ] SI	$\gamma_s$ [Kg/m <sup>3</sup> ] ST
Piedras y guijarros	18,000 a 28,000	1,800 a 2,800
Gravas	21,000 a 24,000	2,100 a 2,400
Arenas	26,000 a 27,000	2,600 a 2,700

Tabla N° 4.2 Rango de valores del peso específico de partículas sólidas. Maza. J. A. 1987.

La mayoría de las arenas están formadas por partículas de cuarzo, y por lo tanto los valores característicos de densidad y peso específico son los que figuran en la Tabla 4.3

Parámetro	SI	ST
$\rho_s$	2650 Kg/m <sup>3</sup>	270 Kg.s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
$\gamma_s$	26000 N/m <sup>3</sup>	2650 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla N° 4.3 Valores usuales de densidad y peso específico para arenas. Maza. J. A. 1987.

SI = sistema internacional de unidades

ST = sistema técnico de unidades

#### 4.4.3 Gravedad específica

La gravedad específica, **G**, se define como la relación entre la densidad de la partícula sólida y la densidad del agua a 4°C.

$$G = \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{\gamma_s}{\gamma} \quad (4-5)$$

La mayoría de los sedimentos en ríos aluviales son cuarzos o feldespatos cuya gravedad específica, es 2.65; sin embargo, G varía desde 1.35 a 1.70 para la piedra

pómez; 2.3 para antracita o carbón de piedra; hasta 7.6 para la galena (sulfuro de plomo sólido).

#### 4.4.4 Densidad relativa

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (4-6)$$

$\Delta$  = densidad relativa cuyo valor común para cuarzos es de 1.65.

$\rho$  = densidad del agua (En SI,  $\rho_w = 1000 \text{ Kg/m}^3$ )

$\gamma$  = peso específico del agua (En SI,  $\gamma_w = 9810 \text{ N/m}^3$ )

#### 4.5.- VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LAS PARTÍCULAS

La velocidad de caída es la máxima velocidad que la partícula alcanza cuando cae libremente en agua. La velocidad de caída tiene en cuenta el peso, la forma, el tamaño de la partícula, la temperatura y la densidad del agua. La **Figura 4.1** presenta valores de la velocidad de caída en función del diámetro de la partícula y la temperatura.

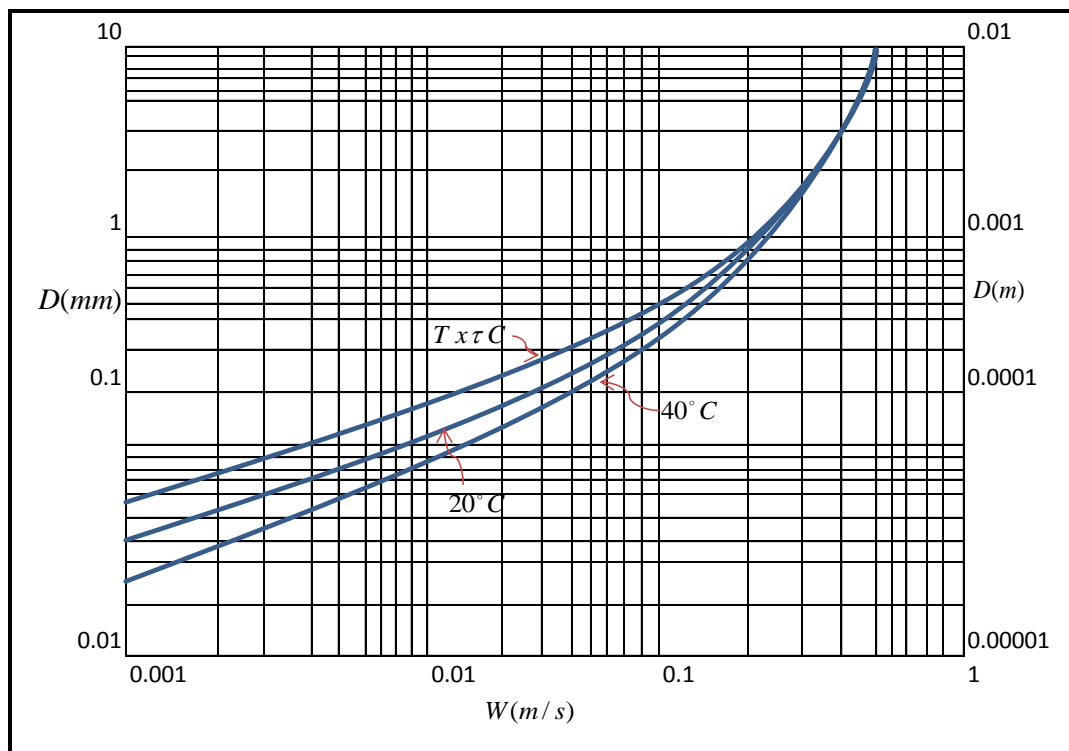


Figura N° 4.1. Velocidad de caída ( $w$ ) para partículas de arena. HEC-18. 1993. Para obtener la velocidad de caída de partículas naturales, Rubey propuso la siguiente ecuación, García F., M. y Maza A., J. A. (1998):

$$W = \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g D + \frac{36 \nu^2}{D^2} \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{6 \nu}{D} \quad (4-7)$$

**w** = velocidad de caída (m/s}

**v** = viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s). Para agua a 10°C la es igual a 1.057 \* 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

**D** = diámetro característico (m)

### **MOVIMIENTO INCIPIENTE DE SEDIMENTOS**

El movimiento de una partícula de sedimento es función de las condiciones instantáneas del flujo y de su resistencia a moverse. El inicio del movimiento de las partículas se da cuando el flujo de agua está a punto de empezar a mover las partículas de sedimento y depende del esfuerzo cortante que una corriente produce sobre el lecho y de la velocidad media del flujo.

A medida que el líquido empieza a moverse sobre el lecho del cauce constituido por partículas sueltas y sin cohesión, de tamaño uniforme, las fuerzas hidrodinámicas empiezan a actuar sobre las partículas sólidas del lecho y en todo el perímetro mojado. Un incremento en la intensidad del flujo produce un incremento en la magnitud de esas fuerzas; llega un momento en que las partículas del lecho son incapaces de resistir las fuerzas hidrodinámicas y entonces empiezan a separarse y eventualmente inician el movimiento. Este movimiento es instantáneo para todas las partículas de un tamaño dado que reposan en la capa superior del lecho; algunas empezarán a moverse mientras que otras aún no han iniciado el movimiento. La naturaleza del problema es entonces aleatoria, confirmando el hecho de que el flujo tiene que ser turbulento.

Si el lecho del cauce es de materiales cohesivos, no es apropiado hablar del inicio del movimiento de partículas si no que es mejor referirse a la condición bajo la cual se produce erosión del lecho o existe habilidad para transportar fragmentos del suelo. Suelos cohesivos con alto peso volumétrico son más resistentes al esfuerzo cortante que aquellos formados por suelos granulares o sueltos.

La resistencia al corte para suelos cohesivos es función de la relación entre los vacíos y el contenido de arcilla.

Definir con precisión la iniciación del movimiento es un problema bastante difícil debido al gran número de variables involucradas en el fenómeno. No hay en la práctica un criterio único que indique las condiciones bajo las cuales se inicia el transporte de sedimentos. Existen muchas fórmulas dadas por diferentes autores y los resultados pueden ser bien distintos.

Un criterio que da una idea sobre la forma de transporte fue propuesto por Raudkivi:

$6.0 > w / V^* > 2.0$  transporte de fondo, por deslizamiento y rodamiento

$2.0 > w / V^* > 0.7$  transporte de fondo por saltación

$0.7 > w / V^* > 0$  transporte en suspensión

$w$  = velocidad de caída

$V^*$  = velocidad cortante

$$\boxed{V = \sqrt{gRI}} \quad (4-8)$$

$R$  = radio hidráulico

$I$  = gradiente hidráulico

#### **4.6.- EFECTO DE CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN**

El diámetro  $D$ , para iniciar su movimiento (bajo unas ciertas condiciones de flujo). Las fórmulas o tablas que evalúan ambos conceptos son todas de tipo experimental. Muchos investigadores han tratado de cuantificar esta velocidad crítica de iniciación del movimiento y la mayoría de los autores coinciden en afirmar:

- El material del lecho de un canal bien formado se compone de partículas de diferente tamaño y cuando los intersticios de las más grandes se rellenan con las más pequeñas, la masa llega a ser más densa, estable y menos vulnerable a la acción erosiva del agua.
- La velocidad requerida para erosionar o degradar un canal bien formado en cualquier material es mucho más grande que la velocidad requerida para

mantener el movimiento de ese mismo material, una vez removido del canal.

- La presencia de coloides en el material del canal o en el agua que conduce el canal tiende a cementar las partículas más finas (limos, arcillas, gravas) de tal forma que la resistencia a las fuerzas erosivas se incrementa y el canal permite más altas velocidades medias de flujo antes de que presente un efecto de socavación apreciable.

Hjulström (1935) analizó el problema de erosión, transporte y depositación con base en la velocidad media del flujo. Debido a que la velocidad del fondo es casi siempre muy difícil de determinar, él asumió que para profundidades mayores que 1.0 m, la velocidad en el fondo es 40% menos que la velocidad media del flujo ( $V_b < 0.4 V$ ). Hjulström presentó el diagrama mostrado en la **Figura 4.2**, donde demarca las zonas de transporte, depositación y zonas donde se inicia el movimiento. El diagrama indica que los granos más sueltos (arenas) son los más fáciles de erosionar; la gran resistencia a la erosión de las partículas más pequeñas depende de las fuerzas de adhesión y cohesión.

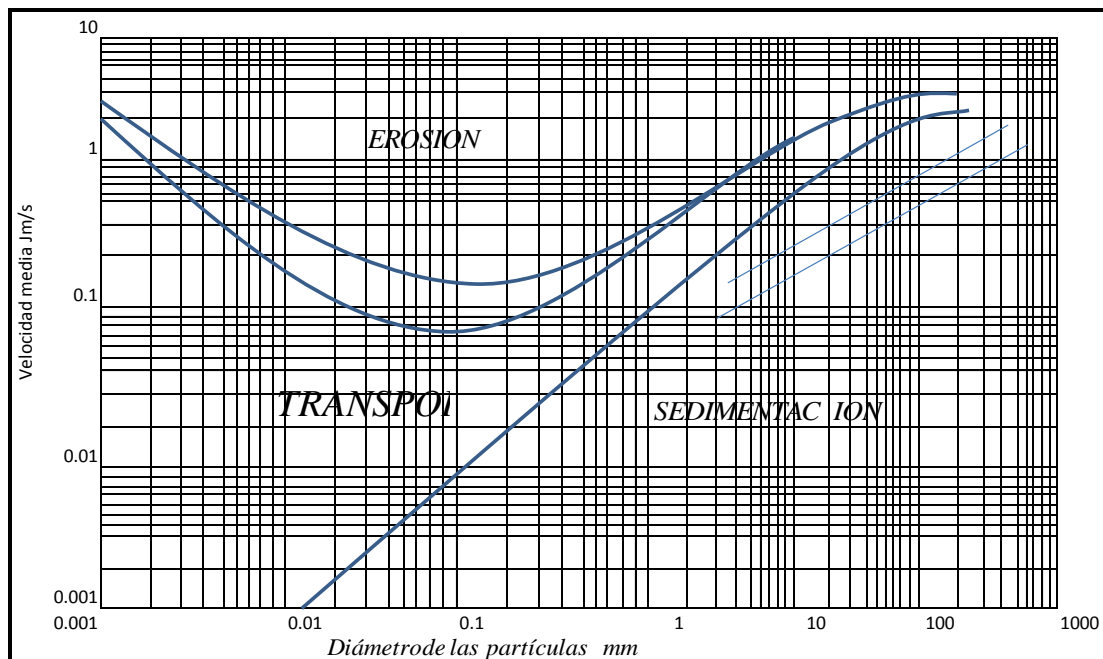


Figura N° 4.2 Diagrama de Hjulström. García F., M. y Maza A., J. A. (1997).  
(Zonas de transporte, depositación y movimiento de los sedimentos)

Para calcular la velocidad crítica del flujo que da inicio al movimiento de partículas, se usan entre otras, las siguientes ecuaciones:

### 1.- Maza-García

$$V_c = 4.71 \Delta^{1/2} D^{0.35} R^{0.15}$$

(4-9) y (4-10)

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$$

$\Delta$  = densidad relativa cuyo valor común para cuarzos es de 1.65

$D$  = Dm para cauces con material casi uniforme o para diseños conservativos

$D$  = D90 para distribuciones de materiales bien gradados y si la distribución granulométrica es log-normal

$D$  = D84 para cualquier otra distribución

$V_c$  = velocidad crítica [m/s]

### 2.- Ecuación empírica (HEC-18, 1993)

$$V_c = 6.19 h^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

(4-11)

$V_c$  = velocidad crítica por encima de la cual el material de lecho con tamaño D50 o más pequeño es transportado [m/s]

$h$  = profundidad del flujo [m]

D50 = diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor [m]

### 3.- Ecuación logarítmica

$$V_c = 5.75 V_c \log(5.53 \frac{h}{D_{50}})$$

$$V = \sqrt{gRI}$$

$$V_c = \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho_w}}$$

(4-12)- (4-13)- (4-14)

$V^*c$  = velocidad cortante crítica para inicio del movimiento de sedimentos.

También se puede obtener de la **Figura 4.2**

$H$  = profundidad del agua [m]

$H = R = h_m$  en cauces de sección aproximadamente rectangular o muy anchos

$D_{50}$  = diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor [m]

$$h_m = \frac{A}{B} \quad (4-15)$$

$h_m$  = profundidad media del flujo = profundidad hidráulica

$B$  = ancho de la superficie libre del cauce

Material	$n$	Agua limpia		Agua con limos coloidales	
		$V$ (m/s)	$\tau$ (N/m <sup>2</sup> )	$V$ (m/s)	$\tau$ (N/m <sup>2</sup> )
Arenas finas, no coloidales	0.020	0.457	1.29	0.762	3.59
Franco arenoso, no coloidal	0.020	0.533	1.77	0.762	3.59
Franco limoso, no coloidal	0.020	0.610	2.30	0.914	5.27
Limos aluviales, no coloidales	0.020	0.610	2.30	1.07	7.18
Tierra negra firme común	0.020	0.762	3.59	1.07	7.18
Ceniza volcánica	0.020	0.762	3.59	1.07	7.18
Arcilla dura, muy coloidal	0.025	1.140	12.4	1.52	22.0
Limos aluviales, coloidales	0.025	1.140	12.4	1.52	22.0
Pizarra y tepetate	0.025	1.830	32.1	1.83	32.1
Grava fina	0.020	0.762	3.59	1.52	15.3
Tierra negra graduada a piedritas cuando no es coloidal	0.030	1.140	18.2	1.52	31.6
Limos graduados a piedritas cuando es coloidal	0.030	1.220	20.6	1.68	38.3
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.220	14.4	1.83	32.1
Piedritas y ripio	0.035	1.520	43.6	1.68	52.7

Tabla N° 4.4 Coeficientes de rugosidad de Manning, velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los correspondientes valores de la fuerza tractiva unitaria dados por el US Bureau of Reclamation. French. R. H. 1988.



Con respecto a los datos de la **Tabla 4.4**, debe notarse lo siguiente:

a) El canal desripador en ríos con alta carga de arcillas como el río Arturo deben diseñarse para velocidades medias de 1 a 2 ft/s (0.30 a 0.61 m/s) mayores a las permitidas para el mismo material perimetral si el agua transportara sedimento.

#### **Lischtván-Levediev**

Lischtván-Levediev presenta valores de velocidades máximas que una corriente puede tener sin que haya movimiento de partículas en el fondo. La **Tabla 4.5** incluye valores de velocidades máximas para suelos granulares en función del diámetro medio de la partícula y de la profundidad del flujo y la **Tabla 4.6** sirve para suelos no cohesivos en función de la profundidad del flujo y el tamaño de la partícula.

Diámetro medio	Profundidad media del flujo [m]					
mm	0.40	1.00	2.00	3.00	5.00	mas de 10
0.005	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45
0.05	0.20	0.30	0.40	0.45	0.55	0.65
0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.70	0.80
1.0	0.50	0.60	0.80	0.75	0.85	0.95
2.5	0.65	0.75	0.80	0.90	1.00	1.20
5	0.80	0.85	1.00	1.10	1.20	1.50
10	0.90	1.05	1.15	1.30	1.45	1.75
15	1.10	1.20	1.35	1.50	1.65	2.00
25	1.25	1.45	1.65	1.85	2.00	2.30
40	1.50	1.85	2.10	2.30	2.45	2.70
75	2.00	2.40	2.75	3.10	3.30	3.60
100	2.45	2.80	3.20	3.50	3.80	4.20
150	3.00	3.35	3.75	4.10	4.40	4.50
200	3.50	3.80	4.30	4.65	5.00	5.40
300	3.85	4.35	4.70	4.90	5.50	5.90
400		4.75	4.95	5.30	5.60	6.00
Mas de 500			5.35	5.50	6.00	6.20

Tabla N° 4.5. Velocidades medias no erosionables para suelos granulares (m/s)

Según Lischtván-Levediev. Maza J. A., 1987

#### **Acorazamiento del cauce**

El acorazamiento de un cauce se produce cuando el lecho tiene sedimentos con gradaciones extendidas de forma que el flujo de agua remueve las partículas finas ocasionando un reacomodo de las partículas más gruesas que forman una coraza.

Un lecho acorazado y estable previene que la socavación progrese. Las condiciones críticas de acorazamiento son aquellas por encima de las cuales es imposible el acorazamiento de cauces con sedimentos no uniformes, ya que la coraza se rompería al estar sometida a altas velocidades del flujo (Melville, B. W., 1988). Esta condición representa el lecho acorazado más estable para un material dado y se caracteriza por una velocidad crítica de acorazamiento **V<sub>ca</sub>**.

Clase de suelo	Tamaño (mm)	Profundidad del agua (m)			
		0.40	1.0	2.0	3.0
Piedras grandes	> 256	4.60	5.09	5.79	6.19
Piedras medianas	256 - 128	3.60	4.08	4.69	5.00
Piedras pequeñas	128 - 64	2.29	2.71	3.11	3.41
Grava muy gruesa	64 - 32	1.58	1.89	2.19	2.50
Grava gruesa	32 - 16	1.25	1.43	1.65	1.86
Grava mediana	16 - 8	1.01	1.13	1.25	1.40
Grava fina	8 - 4	0.79	0.91	1.01	1.16
Grava muy fina	4 - 2	0.67	0.76	0.85	0.94
Arena muy gruesa	2 - 1	0.55	0.64	0.73	0.82
Arena gruesa	1 - 0.5	0.46	0.55	0.64	0.70
Arena media	0.5 -	0.37	0.46	0.55	0.61
Arena fina	0.25 -	0.30	0.40	0.49	0.55
	0.125				
Limo arenoso		1.01	1.19	1.40	1.49
Suelos tipo loes en la condición de sedimentación final		0.79	1.01	1.19	1.31
Conglomerado, marga, pizarra y caliza porosa.		2.0	2.5	3.0	3.5
Conglomerado compacto, caliza laminada, arenosa o masiva.		3.0	3.5	4.0	4.5
Arenisca, caliza muy compacta.		4.0	5.0	6.0	6.5
Granito, basalto y cuarcita.		15.0	18.0	20.0	22.0

Tabla N° 4.6 Velocidades no erosivas para suelos (m/s). Adaptada de Richardson E. Simmons D. B. y Julien P. Y. 1993.

Resumiendo algunos de los conceptos vistos, se concluye que a medida que aumenta la velocidad de la corriente, el movimiento de las partículas pasa por diferentes situaciones durante el proceso erosivo tal como se observa en la **Figura 4.3**.

**1.-** Al aumentar el caudal en época de creciente, aumenta la velocidad media del flujo en el cauce.

2.- La velocidad del flujo es tal que se inicia el movimiento de las partículas del lecho ( $V > V_c$ ).

3.- Se puede presentar el acorazamiento de cauces formados por partículas no uniformes ya que el flujo de agua mueve partículas finas, reacomoda otras y forma una capa resistente al arrastre ( $V > V_a$ ).

$V$  = velocidad del flujo

$V_c$  = velocidad crítica para movimiento de partículas uniformes

$V_a$  = velocidad de acorazamiento

$V_{ca}$  = velocidad crítica de acorazamiento

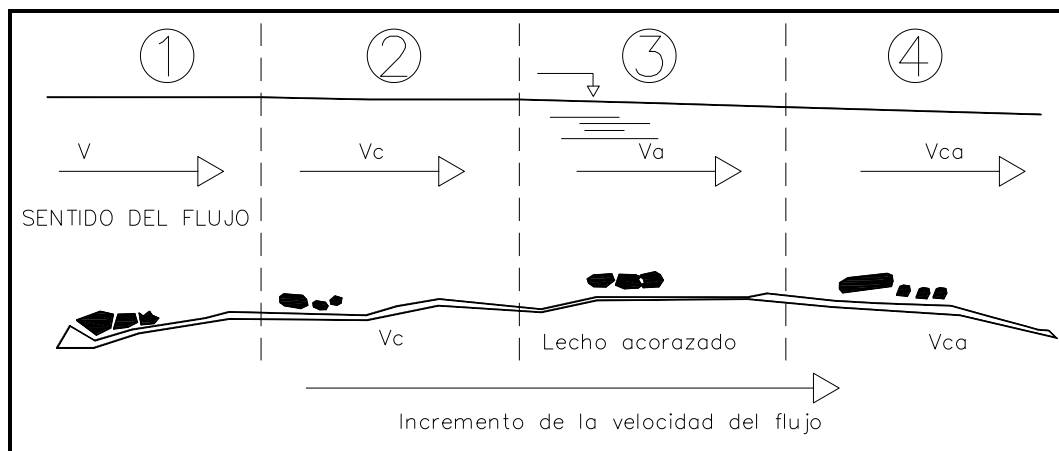


Figura N° 4.3. Evolución de la velocidad de la corriente y movimiento de las partículas. (SIPUCOL, 1996).

#### 4.7.- DISTRIBUCIONES GRANULOMÉTRICAS

Las características del material en un tramo de un río se determinan por los promedios de varias muestras tomadas en diferentes partes de la sección longitudinal y transversal del cauce en la zona de estudio. Análisis granulométricos con tamices se usan para determinar las fracciones de material grueso como gravas y arenas y métodos hidrométricos se deben usar para obtener las fracciones de materiales finos como limos y arcillas.

El análisis granulométrico en el cauce se realizó con dos objetivos complementarios que son la determinación de la rugosidad del cauce asociada a la gradación de los sedimentos presentes en el lecho y la distribución granulométrica

del material transportado y disponible según las muestras recopiladas en los aforos sólidos. La distribución de frecuencia de los tamaños se hace usando procedimientos estadísticos que relacionan el peso de la partícula retenida en cada tamiz y el tamaño de la malla del tamiz. Se representa usualmente en forma gráfica (**Figura 4.4**) en donde las ordenadas contienen el porcentaje de la partícula en peso que es más pequeño que el tamaño representado por la malla y las abscisas contienen el tamaño de la apertura de la malla. La curva granulométrica de sedimentos naturales transportados por el río usualmente presenta una distribución log-normal.

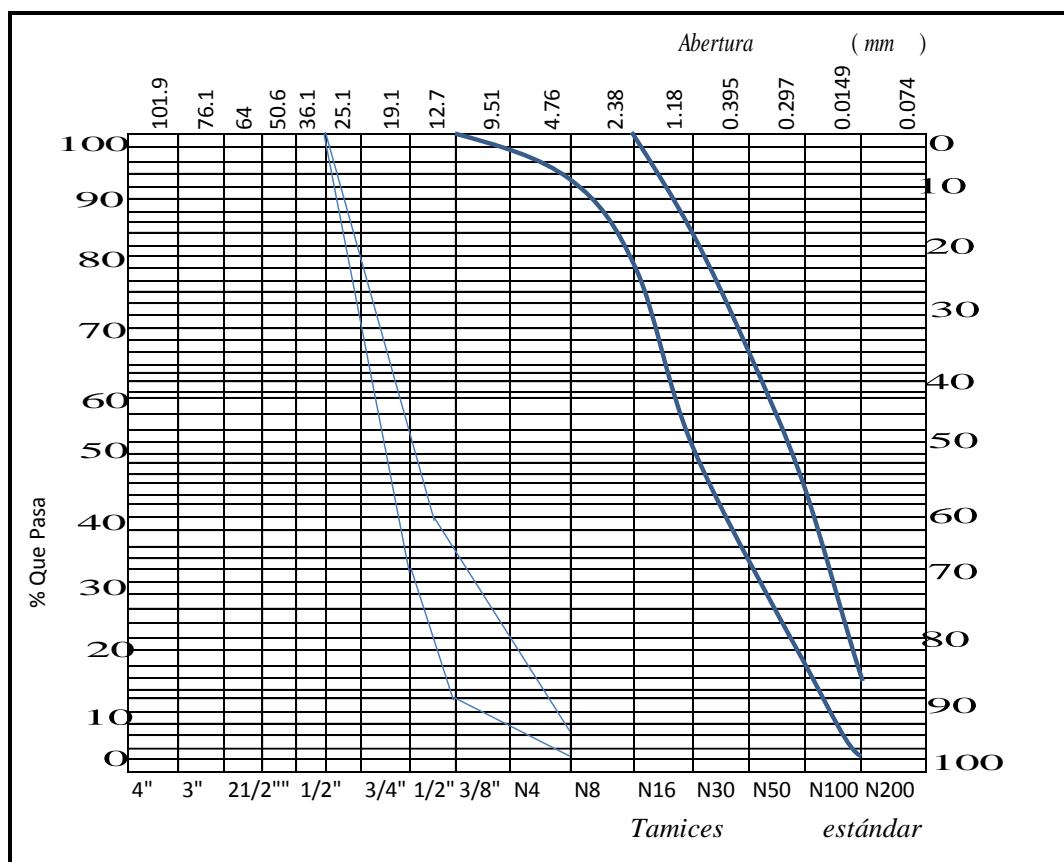


Fig. N° 4.4 Curva Granulométrica

Referencia: García F., M. y Maza A., J. A. (1998)

## DISTRIBUCIONES TEÓRICAS

Las observaciones del estudio de los sedimentos, se concluye que los tamaños de las partículas que constituyen tales sedimentos no se distribuyen según una ley única. Sin embargo, se ha comprobado también que dependiendo de las condiciones en las que se encuentren los sedimentos en el lecho del río, se dan abundantes casos que presentan una tendencia bastante definida hacia cierto tipo

de distribución; es decir, existen sedimentos que se ajustan más a una determinada distribución que a otra.

La concordancia entre una distribución real y una teórica difícilmente es perfecta. Las discordancias se tienen casi siempre en los extremos o colas de la distribución: las fracciones de material muy fino o muy grueso son las que se alejan de la distribución. La mayoría de las veces estas colas representan sólo una pequeña fracción o porcentaje de material; en estos casos puede aceptarse totalmente la validez del modelo teórico, o bien se debe indicar el intervalo en el que se satisface el modelo.

Para poder evaluar la cantidad de sedimentos que transporta el río Arturo se aplicaron varios métodos los mismos que fueron propuestos por el Departamento Técnico de Consejo Provincial de Pichincha.

El sector donde se realizó el muestreo cumplió con los siguientes requisitos:

- El muestreo se realizó en una sección perpendicular a la dirección de la corriente del río.
- Se realizó aguas arriba del cauce del río

Ensayos realizados

- Ensayo de Granulometría de acuerdo a la norma ASTM C136
- Ensayo para determinar la densidad específica de acuerdo a la norma ASTM C127

#### CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

DATOS HIDRÁULICOS	
Sección del tramo del cauce río Arturo	2.008 m
Perímetro	9.726 m
velocidad media de la corriente	0.35 m/s
temperatura del agua	12 °C
profundidad del flujo	0.15 m
Pendiente	3%

DATOS GRANULOMÉTRICOS		
Dm	30.51mm	diámetro medio de la partícula
D40	24mm	Fig. 4-4
D50	29.9mm	Fig. 4-4
D90	55mm	Fig. 4-4
Dmáx	76mm	diámetro máximo de la partícula
Ps	2610 Kg/m³	peso específico de la partícula (tabla 4-3)

Tabla N° 4.6 - 4.7 Datos hidráulicos y granulométricos. Fuente: Gobierno de la Provincia de Pichincha Estudios Sedimentológicos Tomo I pag.32

#### **FÓRMULA DE INGLISH Y LANCEY (1968)**

$$g_B = \frac{0.566 * \gamma * U^5 * V^{1/3}}{W_m d g^{5/3}}$$

$$g_B = 261.72 \text{Ton} / \text{año} * m$$

#### **FÓRMULA DE LEVI (1948)**

$$g_B = \frac{0.002 * \gamma_s * U^3 (U - U_c)}{g^{1.5} (d * D)^{0.25}}$$

$$g_B = 581.4 \text{Ton} / \text{año} * m$$

Dónde:

$g_B$  = Transporte unitario de sedimentos de fondo

$\gamma$  = Peso específico del agua

$\gamma_s$  = Peso específico de la partícula sólida

D = Diámetro de la partícula

g = Aceleración debido a la gravedad

U = Velocidad media de la corriente

$U_c$  = Velocidad crítica de las partículas

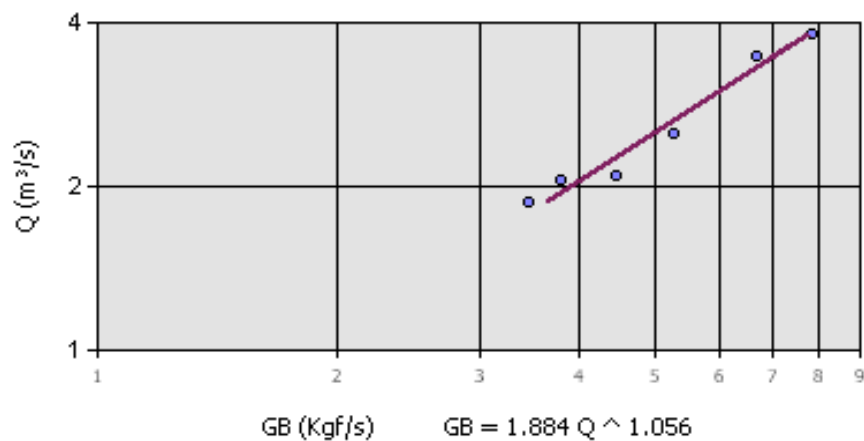
$W_m$  = Velocidad de caída con respecto al diámetro medio de las partículas

## RESULTADOS OBTENIDOS

CANTIDAD DE SEDIMENTOS PRODUCIDOS	
TRANSPORTE DE FONDO PROMEDIO	421.56 Ton/año*m

Fuente: Van Rijn, Leo. (1990). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, and Coastal Seas. Aqua Publications. Delft, the Netherlands.

## CURVA DE DESCARGA SÓLIDA DEL RÍO ARTURO



$G_B$  = Transporte unitario de sedimentos de fondo

Fig. N° 4.5 Curva de Descarga Sólida del río Arturo. Fuente: Gobierno de la Provincia de Pichincha Estudios Sedimentológicos Tomo I pag.32

## MÉTODO EMPÍRICO (MÉTODO DE KHOSLA)

Utilizando el método de Khosla se obtuvo el cálculo del volumen de sedimentos por unidad de área

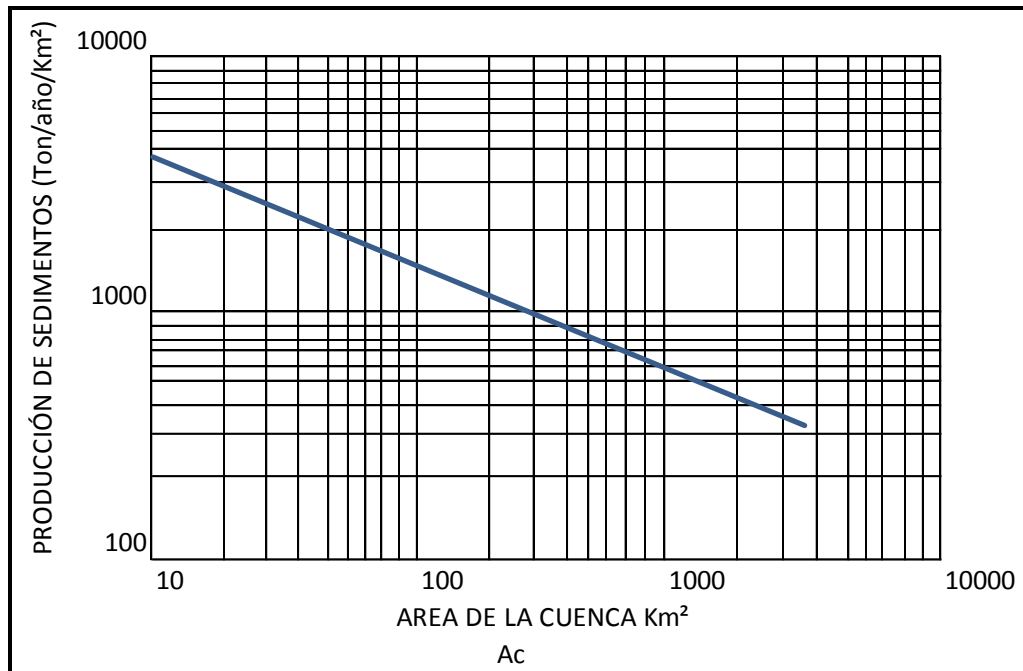


Fig. N° 4.6 Producción de sedimentos por área (METODO DE KHOSLA)

Programa Sediments V1.0

- Con el valor de la superficie de la cuenca se obtiene de la curva (4.6) el peso de sedimentos.
- Se calculó el volumen de sedimentos por unidad de área.

$$V_a = \frac{V_s}{V} (m^3 / km^2 / año) \quad (4-16)$$

$V_s$  = peso de sedimentos

$V$  = densidad media

$V_a$  = volumen de sedimentos por unidad de área.

$A = 7.1 \text{ km}^2$

$V_s = 2200 \text{ Ton} / \text{km}^2$

(fig. 4.6)

$V = 1.35 \text{ Ton} / \text{m}^3$  (asumido)

$V_a = 2200 / 1.35$

$V_a = 1630 \text{ m}^3 / \text{km}^2 / \text{año}$



- Se calcula el volumen anual de azolve mediante:

$$V = V_a * AC$$

$$V = 1630 * 7.1$$

$$V = 11573 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Se calculó el volumen total

$$V_t = V * t$$

t= vida útil de la obra

$$V_t = 11573 * 25$$

$$V_t = 289325 \text{ m}^3$$

## **CAPÍTULO V: MODELACIÓN DEL PROYECTO**

### **5.1.- INTRODUCCIÓN**

El modelo hidráulico es la esquematización de la realidad hecha con fines de estudio. Por lo que es una ayuda importante para el diseño de las obras hidráulicas difíciles de analizar por medio de un modelo matemático, siempre y cuando el diseño de un modelo reducido sea correcto, esté bien operado y los resultados sean interpretados con sentido crítico.

El modelo de la presente disertación es de simulación, es decir descriptivo ya que se analizan los diferentes condicionantes. Permite el análisis de riesgos, para la planificación y estudios de la construcción del canal desripador, en el caso que sea necesario.

La investigación del modelo se realiza para mejorar las situaciones desfavorables existentes en el prototipo, es decir la estructura hidráulica al tamaño natural, o ayudar en el diseño de obras hidráulicas para encontrar una solución, sin riesgos de fallas completas o parciales, de las obras que se van a construir.

### **5.2.- ANÁLISIS DIMENSIONAL**

El análisis dimensional es una herramienta que permite relacionar matemáticamente las dimensiones de las magnitudes físicas a ser simulados.

Haciendo un análisis más específico la masa de agua está constituida por materia física y por ende ocupa un lugar en el espacio y en el tiempo, es decir geométricamente tendríamos a la longitud, el ancho, y la profundidad. Definiéndose así a la Masa (M) Longitud (L) y Tiempo (T) como magnitudes físicas.

En el planteamiento del análisis de los fenómenos hidráulicos a ser simulados se puede identificar un conjunto de magnitudes o variables que intervienen en el. Para encontrar las relaciones entre las variables es necesario realizar el análisis dimensional de dichas magnitudes para llegar así a una ecuación que sea dimensionalmente homogénea.

El estudio de una estructura hidráulica en modelo físico debe cumplir las siguientes magnitudes en estudio:

**Magnitudes Geométricas** Toda estructura hidráulica geoméricamente está definida por Longitud, Ancho y Altura cuyo parámetro dimensional es [L]

**Magnitudes Cinemáticas** El movimiento de un fluido identifica su característica cinemática por la Velocidad (V) y su dimensional es [L.T-1]. Para otros escenarios la velocidad puede ser sustituida por el Caudal (Q) cuyo dimensional es [L<sup>3</sup>T-1]

**Magnitudes Dinámicas** Las fuerzas que intervienen en el fenómeno hidráulico condicionan su movimiento y definen su estado de inercia. El tipo de régimen estará determinado por la incidencia mayor o menor de una determinada fuerza, las fuerzas que intervienen son las siguientes:

- Fuerzas Internas
- Fuerzas Externas
- Fuerzas Elásticas
- Fuerzas Viscosas
- Fuerza de Tensión Superficial
- Densidad o masa Específica (Fuerza de Inercia)

Las fuerzas presentes en la mayoría de los fenómenos hidráulicos y que determinan el comportamiento hidráulico de las estructuras se definen en la siguiente tabla.

FUERZAS	DEFINICION	MAGNITUD REPRESENTATIVA	DIMENSIONAL
Internas	El estado interno de tensión que actúa sobre cada partícula	$\Delta p$ Variación de Presión	$[F.L^{-2}]$
Externas	El campo externo que actúa sobre la partícula	$\gamma$ Peso Específico	$[F.L^{-3}]$
Elásticas	La compresibilidad del fluido	E Módulo de Elasticidad	$[F.L^{-2}]$
Viscosas	La fuerza de resistencia ala movimiento	$\mu$ Viscosidad Dinámica	$[F.L^{-2}.T]$
Tensión Superficial	La interaccion entre el fluido	$\sigma$ Tensión Superficial	$[F.L^{-1}]$
Inercia	La oposición al movimiento por su propia masa	$\rho$ Densidad	$[F.L^{-2}.T]$

Tabla N° 5.1 Magnitudes Dinámicas. .Elaborado por: Jiménez Héctor

### 5.3.- SELECCIÓN DE LA SEMEJANZA: GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA Y DINÁMICA

#### 5.3.1.- SIMILITUD GEOMÉTRICA

Se cumple cuando las magnitudes geométricas que condicionan el fenómeno hidráulico en estudio, tienen la misma relación de escala, es decir:

Para cualquier longitud L

$$L = \frac{L_p}{L_m} = E_L \quad (5-1)$$

De donde:

$E_L$  = Escala de longitudes

$L_p$  =Longitudes de prototipo.

$L_m$  =Longitudes de modelo.

### 5.3.2.- SIMILITUD CINEMÁTICA

Se la obtiene cuando, al comparar el prototipo y el modelo, los patrones de flujo homólogos con respecto a un movimiento son iguales en cualquier tiempo, esto quiere decir que la relación de velocidades es constante y la escala de velocidades también lo es, debe cumplirse la similitud geométrica para que se cumpla la similitud cinemática, por lo tanto se tiene que:

$$V_e = \frac{V_p}{V_m} \quad (5-2)$$

$$T_e = \frac{T_p}{T_m} \quad (5-3)$$

$$a_e = \frac{a_p}{a_m} \quad (5-4)$$

Dónde:

$V_e$  = Escala de velocidades

$T_e$  = Escala de tiempos

$a_e$  = Escala de aceleraciones

Al tomar mediciones de velocidades, tiempos y aceleraciones en cualquier punto del modelo y multiplicarlas por la correspondiente escala se puede obtener valores de velocidades, tiempos y aceleraciones en puntos homólogos del prototipo.

### 5.3.3.- SIMILITUD DINÁMICA

#### 5.3.3.1 INTRODUCCIÓN

Entre el modelo y el prototipo existe cuando el conjunto de fuerzas que actúan en el fluido, en puntos homólogos, se relacionan entre sí en magnitud, mediante un valor único y constante,  $F_e$  (Escala de Fuerzas).

Se dice que dos sistemas tendrán una completa similitud cuando se presenten simultáneamente las similitudes geométricas, cinemática y dinámica.

Las fuerzas que comúnmente intervienen en el flujo son la de inercia, presión, gravedad, viscosidad, tensión superficial y elásticas, mencionadas anteriormente.

Si la sumatoria de estas fuerzas no es igual a cero se producirá una aceleración en las partículas, es por razones de equilibrio entonces que la sumatoria de fuerzas será igual a cero, teniendo que:

$$F_p + F_g + F_E + F_\mu + F_\sigma + F_i = 0 \quad (5-5)$$

$F_p$  = Fuerza de Presión

$F_g$  = Fuerza de Gravedad

$F_E$  = Fuerza Elástica

$F_\mu$  = Fuerza de Viscosidad

$F_\sigma$  = Fuerza de Tensión Superficial

$F_i$  = Fuerza de Inercia

La semejanza dinámica implica que se cumpla:

$$F_e = \frac{Fp_p}{Fp_m} = \frac{Fg_p}{Fg_m} = \frac{FE_p}{FE_m} = \frac{F\mu_p}{F\mu_m} = \frac{F\sigma_p}{F\sigma_m} = \frac{Fi_p}{Fi_m} \quad (5-6)$$

La relación de cada una de estas fuerzas con la inercia da lugar a parámetros adimensionales que generalmente reciben el nombre de los investigadores que los utilizaron por primera vez.

### 5.5.3.2 SIMILITUD PARTICULAR DE FROUDE

**Fuente: Modelos hidráulicos Masa José Antonio, México, publicación N.-169 de la U.N.A.M 1969.**

Cuando el flujo en el modelo y en prototipo está gobernados por las fuerzas de inercia y gravitacionales entonces será representado por la similitud particular de Froude.

Escala: es “la relación que existe entre una magnitud del prototipo y su correspondiente en modelo”, se la representa con el símbolo de la variable en estudio, a la cual se añade el subíndice (e) y se la encuentra expresada por:

$$e = \frac{\text{magnitud prototipo}}{\text{magnitud modelo}} = \frac{e_p}{e_m} \quad (5-7)$$

La ecuación de fuerzas, partiendo de la ecuación básica, entre el prototipo y modelo será:

$$\begin{aligned} F &= \gamma * \nabla \\ \text{Escala de fuerzas } (e_f) \quad e_f &= \frac{F_p}{F_m} = \frac{\gamma_p * \nabla_p}{\gamma_m * \nabla_m} = e_T * e_L^3 \end{aligned} \quad (5.8)$$

Como la escala de fuerzas debe cumplir con la segunda ley de Newton, entonces:

$$\begin{aligned} e_f &= e_M * e_a \\ e_f &= e_M * e_L * e_T^{-2} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Si igualamos las expresiones (5.8) y (5.9)

Escala de tiempo( $e_T$ )

$$\begin{aligned} e_T * e_L^3 &= e_M * e_L * e_T^{-2} \\ e_T * e_L^3 &= e_M * e_v * e_T^{-1} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Y como:

$$\boxed{\begin{aligned} e_T &= \frac{\gamma_p}{\gamma_m} = \frac{\delta_p * g_p}{\delta_m * g_m} = e_\delta * e_g \\ e_T &= e_\delta * e_g \end{aligned}} \quad (5.11)$$

Y

$$\boxed{\begin{aligned} e_m &= \frac{M_p}{M_m} = \frac{\delta_p * \forall_p}{\delta_m * \forall_m} = e_\delta * e_L^3 \\ e_m &= e_\delta * e_L^3 \end{aligned}} \quad (5.12)$$

Reemplazando la ecuación (5.11) y (5.12) en (5.10) obtendremos:

$$\begin{aligned} e_\delta * e_g * e_L^3 &= e_\delta * e_L^3 * e_v * e_T^{-1} \\ e_g * e_L^3 &= e_L^2 * e_v^2 \\ e_g * e_L &= e_v^2 \\ \frac{e_v^2}{e_g * e_L} &= 1 \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\boxed{\frac{e_v}{(e_g * e_L)^{1/2}} = 1}$$

Como:

$$\boxed{e_{Fr} = \frac{Fr_p}{Fr_m} = \frac{(V/(g * L)^{1/2})p}{(V/(g * L)^{1/2})m} = \frac{e_v}{(e_g * e_L)^{1/2}}} \quad (5.14)$$

Igualando (5.13) y (5.14) tenemos que:

$$\boxed{e_{Fr} = 1}$$

La escala de la aceleración de la gravedad es 1 porque la gravedad será la misma tanto en el prototipo como en el modelo y entonces tenemos que:



$$\frac{e_v}{(e_g * e_L)^{\frac{1}{2}}} = 1 = e_a$$

$$\frac{e_v}{e_L^{\frac{1}{2}}} = 1 \quad (5.15)$$

$$e_v = e_L^{\frac{1}{2}}$$

Siendo  $e_v$  la escala de velocidades

La escala de caudales viene dada por:

$$e_Q = \frac{e_p}{e_m} = \frac{(V * A)p}{(V * A)m} = e_v * e_L^2 = e_L^{\frac{1}{2}} * e_L^2 \quad (5.16)$$

$$e_Q = e_L^{\frac{5}{2}}$$

Y para el tiempo tenemos que la escala es:

$$e_T = \frac{T_p}{T_m} = \frac{\left(\frac{L}{V}\right)p}{\left(\frac{L}{V}\right)m} = \frac{e_L}{e_v} = e_L * e_L^{\frac{1}{2}} \quad (5.17)$$

$$e_T = e_L^{\frac{3}{2}}$$

La escala de fuerza estará dada por:

$$e_F = \frac{F_p}{F_m} = \frac{\gamma_p * \nabla_p}{\gamma_m * \nabla_m} = \frac{(\delta * g * \nabla)p}{(\delta * g * \nabla)m} = e_\delta * e_g * e_L^3$$

Como se utilizara el mismo liquido en el prototipo y en el modelo entonces

$e_\delta = 1$ :

$$e_F = e_L^3$$

La escala de potencia estará dada por:

$$\begin{aligned}
e_N &= \frac{N_p}{N_m} = \frac{(F * V)_p}{(F * V)_m} = \frac{(\gamma * \forall * V)_p}{(\gamma * \forall * V)_m} \\
e_N &= \frac{(\gamma * \forall * Q / A)_p}{(\gamma * \forall *)_p Q / A_m} = \frac{(\gamma * H * Q)_p}{(\gamma * H * Q)_m} \\
e_N &= e_L * e_Q \\
e_N &= e_L * e_L^{\frac{5}{2}} \\
\boxed{e_N &= e_L^{\frac{7}{2}}}
\end{aligned} \tag{5.19}$$

Escala de trabajo (energía):

$$\begin{aligned}
e_E &= \frac{E_p}{E_m} = \frac{(N * T)_p}{(N * T)_m} = e_N * e_T = e_L^{\frac{7}{2}} * e_L^{\frac{1}{2}} \\
\boxed{e_E &= e_L^4}
\end{aligned} \tag{5.20}$$

Para la escala de rugosidad se supone que el modelo será de fondo fijo, sin distorsión y con rozamiento y entonces se parte de las siguientes expresiones:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \tag{Manning}$$

$$V = Km * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \tag{Strickler}$$

De donde tenemos que:

n= coeficiente de rugosidad de Manning

Km= coeficiente de resistencia de Strickler, además se considera los siguientes coeficientes de resistencia al aplicar la formula a toda la sección:

Kw=coeficiente de resistencia debido a la rugosidad de las paredes

Ks=coeficiente de resistencia debido a la rugosidad del fondo

Kr=coeficiente de resistencia proveniente de la resistencia al flujo de las partículas constituyentes del fondo el mismo que será el caso de turbulencia (el cauce se comporta como rugoso) es igual a:

$$\boxed{K_r = \frac{C}{d^{\frac{1}{6}}}} \tag{5.21}$$

Dónde:

C=coeficiente de Chezy, siendo  $C = 26m^{1/2} / s$  para  $d_e = d_{90}$  y  $C = 21m^{1/2} / s$  para  $d_e = d_{50}$  para material uniforme como no informe.

d= diámetro característico de las partículas

R=radio hidráulico

I=pendiente o gradiente de energía

Dados los condicionantes impuestos se tiene que:

$$K_m = K_w = K_s = K_r \quad (5.22)$$

Igualando los condicionamientos de Manning y Strickler se tiene que:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2} = V = K_r * R^{2/3} * I^{1/2} \quad (5.23)$$

$$e_v = \frac{V_p}{V_m} = \frac{K r_p}{K r_m} = * \frac{R_p^{2/3}}{R_m^{2/3}} * \frac{I_p^{1/2}}{I_m^{1/2}} \quad (5.24)$$

El gradiente de energía del prototipo y del modelo debe ser igual con lo que:

$$\frac{I_p^{1/2}}{I_m^{1/2}} = 1 \quad (5.25)$$

Entonces:

$$e_v = \frac{K r_p}{K r_m} = * e_L^{2/3} \quad (5.26)$$

Y así asumimos  $d_{50}$ , tenemos que:

$$\begin{aligned} K r_p &= \frac{21}{d_{50p}^{1/6}} \\ K r_m &= \frac{21}{d_{50p}^{1/6}} \end{aligned} \quad (5.27)$$

Y

$$\begin{aligned}
 e_K &= \frac{Kr_p}{Kr_m} = \left( \frac{d_{50p}}{d_{50m}} \right)^{1/6} = \frac{1}{e_L^{1/6}} \\
 K &= \frac{1}{n} \\
 e_K &= \frac{1}{e_n} \\
 \boxed{e_n &= e_L^{1/6}}
 \end{aligned} \tag{5.28}$$

Si reemplazamos esta última ecuación se tendrá que:

$$\begin{aligned}
 e_V &= \frac{n_p}{n_m} = \frac{R_p^{2/3}}{R_m^{2/3}} = \frac{I_p^{1/2}}{I_m^{1/2}} = \frac{1}{e_n} * e_L^{2/3} \\
 e_V &= \frac{1}{e_L^{1/6}} * e_L^{2/3} \\
 \boxed{e_V &= e_L^{1/2}}
 \end{aligned} \tag{5.29}$$

Es decir, que, obtenemos la similitud de Froude.

Las magnitudes geométricas, cinemáticas y dinámicas para similitud de Froude, se presenta en la tabla No 5.2

MAGNITUDES GEOMÉTRICAS	
LONGITUD	$L_p = L_m(e_L)$
ÁREA	$A_p = A_m(e_L)^2$
VOLUMEN	$\gamma_p = \gamma_m(e_L)^3$
RUGOSIDAD	$n_p = n_m(e_L)^{1/6}$
MAGNITUDES CINEMÁTICAS	
TIEMPO	$T_p = T_m(e_L)^{1/2}$
VELOCIDAD	$V_p = V_m(e_L)^{1/2}$
CAUDAL	$Q_p = Q_m(e_L)^{5/2}$
ACELERACIÓN	$a_p = a_m$
MAGNITUDES DINÁMICAS	
NUMERO DE REYNOLDS	$Re_p = Re_m(e_L)^{3/2}$
MASA	$M_p = M_m(e_L)^3$
FUERZA	$F_p = F_m(e_L)^3$
ENERGÍA	$E_p = E_m(e_L)^4$
POTENCIA	$N_p = N_m(e_L)^{7/2}$

Tabla N° 5.2 Magnitudes físicas para el método de Froude .Elaborado por:  
Jiménez Héctor

La densidad y la gravedad en el modelo y en el prototipo serán las mismas por lo que la relación entre estas será 1.

En los modelos hidráulicos que se presentan bajo la condición de similitud de Froude, las fuerzas preponderantes son las de gravedad, pero sin embargo, la viscosidad nunca desaparece, si se trata de conseguir la ley de similitud que esté presente en los dos efectos (viscosidad y gravedad), deben cumplirse que las escalas de tiempo de Froude y de Reynolds sean iguales. Igualando estas escalas se obtiene la siguiente expresión:

$$\boxed{\frac{\mu_p}{\mu_m} = e_L^{3/2}} \quad (5.30)$$

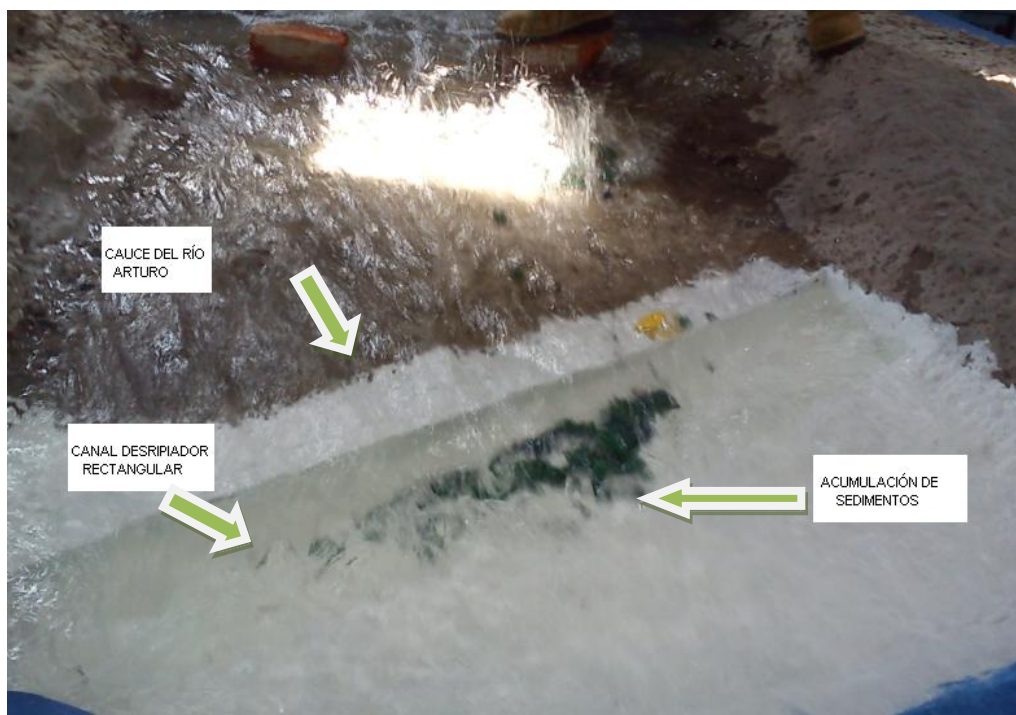
Si se realiza la investigación con el mismo líquido (agua) en el prototipo y en el modelo la escala de longitud es uno, es decir que el único modelo exactamente igual al prototipo, es el prototipo mismo.

## 5.4.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

La utilización de un modelo hidráulico involucra que este debe ser semejante al prototipo, es decir que sus movimientos de flujo deben tener comportamientos similares, para lo cual debe satisfacerse ciertas leyes que relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas, esto se debe obtener al cumplirse la similitud geométrica, similitud cinemática y similitud dinámica.

Se realizaron dos ensayos al correr el modelo hidráulico para determinar la forma, funcionamiento del canal desripiador.

1. El primer ensayo se realizó en un canal desripiador rectangular a lo ancho del cauce del río Arturo. Con un ángulo de inclinación de  $16^\circ$  respecto a la rejilla de fondo, y se pudo observar una gran acumulación de sedimentos en una de las paredes del canal. Al levantar la compuerta del mismo no se consiguió un óptimo lavado de los sedimentos del canal desripiador.

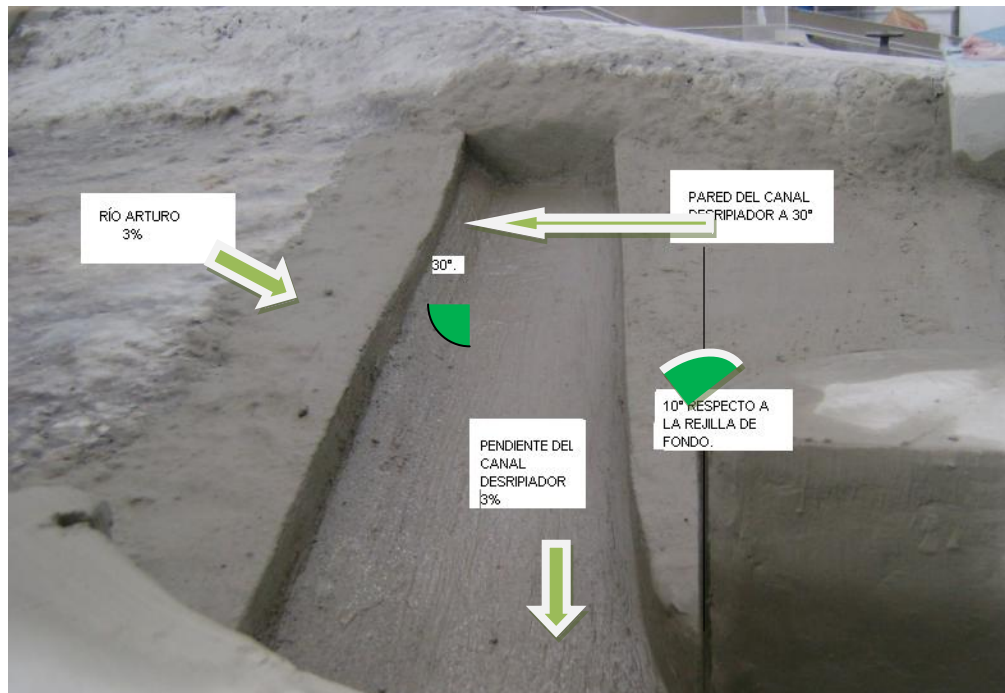


Fotografía N° 5.1 Canal desripiador con un ángulo de  $16^\circ$

En un segundo ensayo del canal desripiador se realizó dos modificaciones de acuerdo a sugerencias técnicas del Departamento Técnico del Sistema de Riego Tabacundo del Consejo Provincial de Pichincha, que consistió en la modificación del ángulo de inclinación a  $10^\circ$  respecto a la rejilla de fondo, y la pared izquierda

del canal desripiador a 30,este ángulo permite una óptimo funcionamiento y la no acumulación de sedimentos en el canal desripiador, permitiendo así un mejor funcionamiento del canal desripiador y una mejor lavado del mismo.

#### CONCLUSION:



Fotografía N° 5.2 Canal desripiador con un ángulo de 10°

1. La modificación 1 corresponde cambiar la pared izquierda fondo del canal desripiador cuyo ángulo es de 30°.
2. La modificación 2 corresponde a cambiar el ángulo de inclinación del canal desripiador de 16° a 10° con respecto a la rejilla de fondo.

Como conclusión: las modificaciones 1 y 2 logran optimizar el dimensionamiento del canal desripiador lo que permite que los sedimentos que pasan hacia la rejilla y la galería son en un porcentaje mínimo.

## 5.5.- DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO FÍSICO

El caudal de diseño es de  $Q=1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir el 100% del caudal de diseño, la velocidad asumida es de  $0.70 \text{ m/s}$ , con estos valores se procede a calcular la altura del canal desripiador , luego se procede al cálculo de la longitud del mismo con la ecuación de Sokoloc (<sup>1</sup>); para el canal de lavado se adoptan las condiciones necesarias para la velocidad  $V=3 \text{ m/s}$ , y para un caudal  $Q=1.5Q_d$ , se procede al cálculo del radio hidráulico, posteriormente se procede al cálculo de la rugosidad con la fórmula de Manning (<sup>2</sup>) y la pendiente del canal mediante la ecuación de Chezy (<sup>3</sup>).

La velocidad de sedimentación ( $w$ ) está en función del diámetro de las partículas que ingresan al desripiador; en este caso el diámetro se lo toma  $\Phi 5\text{mm}$  y  $w=24.90\text{m/s}$ , este valor se lo toma de la tabla 5.1 que se encuentra en el anexo 1.

$$Q_{\text{diseño}}=1.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V=0.7 \text{ m/s (impuesto)}$$

$$\text{Area} = Q/V$$

$$\text{Area} = 1,5/0.70 \quad A= 2.14\text{m}^2$$

<sup>1</sup> Fuente: Diseño Hidráulico Sviatoslav Krochin.Tercera Edición, Octubre 2010, Pag128

<sup>2</sup> Fuente: Diseño Hidráulico Sviatoslav Krochin.Tercera Edición, Octubre 2010, Pag128, ecuación 12 - 16

<sup>3</sup> Fuente: Diseño Hidráulico Sviatoslav Krochin.Tercera Edición, Octubre 2010, Pag127

El dimensionamiento del canal desripiador se lo realizó con el criterio de canal abierto ya que el río Arturo es un río de montaña el mismo que transporta partículas pesadas en el agua.

$$B=Q/ (H_u*V) \quad 1.50/(H_u*0.2)$$



Hu (m)	B=1.50/(Hu*0.2) (m)
0.5	15.0
0.6	12.5
0.7	10.7
0.8	9.4
0.9	8.3
1	7.5
1.1	6.8
1.2	6.3
1.3	5.8
1.4	5.4
1.5	5.0
1.6	4.7
1.7	4.4
1.8	4.2
1.9	3.9
2	3.8
2.1	3.6
2.2	3.4
2.3	3.3
2.4	3.1
2.5	3.0

Tabla N° 5.3 Valores del ancho y altura del canal desripiador. Elaborado por:  
Jiménez Héctor

$$L=1.2*(Vd/w)*Hu$$

$$V=0.7 \text{ m/s}$$

$$W=24,90\text{cm/s} \longrightarrow 0.249 \text{ m/s velocidad de sedimentación}$$

$$H= 2.50 \text{ m}$$

$$L=2.41 \text{ m}$$

$$B=3.0 \text{ m}$$

## Canal Desripiador Prototipo

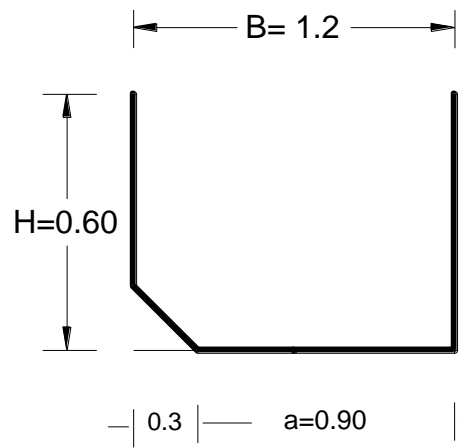


Figura N° 5.1. Corte transversal del canal desripiador en prototipo.

## Canal Desripiador Modelo

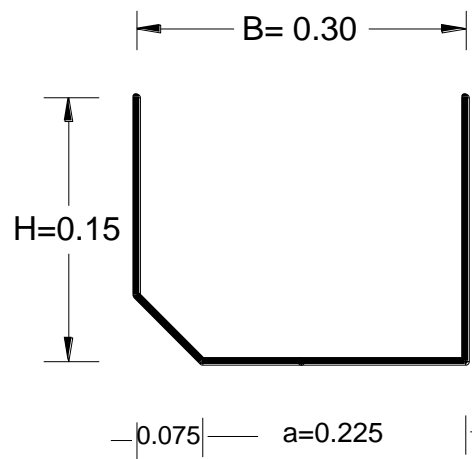


Figura N° 5.2. Corte transversal del canal desripiador en modelo

## CANAL DE EVACUACIÓN DE LOS SEDIMENTOS

$$V = 1.10 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1.5 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Al = \frac{Q}{V} = \frac{1.5}{1.10} = 1.36 \text{ m}^2$$

$$a = 1.5 \text{ m}$$

$$t = 0.5 \text{ m}$$

$$hl = (Al + ((b - a) / 2) * t) / b$$

$$hl = (1.36 + ((3 - 1.5) / 2) * 0.5) / 3$$

$$hl = 2.63 \text{ m}$$

$$A = ((b + a) / 2) * V$$

$$A = ((3 + 1.5) / 2) * 0.2$$

$$A = 0.45 \text{ m}^2$$

$$\tan a = 0.67$$

$$a = \text{ATAN}(0.67) = 33.82$$

$$Pl = a + 2 * (t / \sin 60)$$

$$Pl = 1.5 + 2 * (0.5 / 0.87)$$

$$Pl = 2.65 \text{ m}$$

$$R = \frac{Al}{Pl} = \frac{1.36 \text{ m}^2}{2.65 \text{ m}} = 2.83$$

$$n = 0.018$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0.018} (2.83)^{\frac{1}{6}} = 66.07$$

$$ic = \left( \frac{Q}{(A * C * R)^{\frac{1}{2}}} \right)^2 = \left( \frac{1.5}{(0.45 * 66.07 * 2.83)^{\frac{1}{2}}} \right)^2 = 0.026741099 \quad 2.6741099$$

$$Q = A * C * (R * i)^{\frac{1}{2}} = 0.45 * 66.07 * (2.83 * 2.67)^{\frac{1}{2}} = 3.4678 \quad \text{aprox} = 2Q \quad \text{ok}$$

### Canal de Evacuación de los Sedimentos Modelo

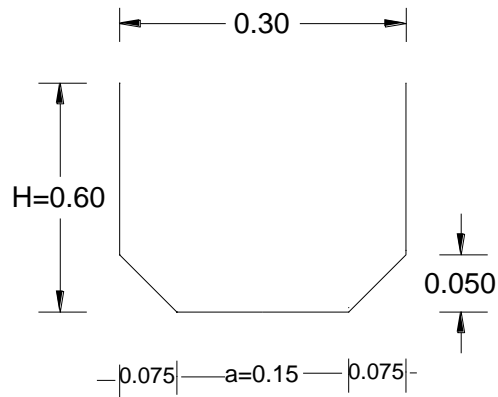


Figura N° 5.3. Corte transversal del canal de evacuación de los sedimentos en modelo. Elaborado por: Jiménez Héctor

### Canal de Evacuación de los Sedimentos Prototipo

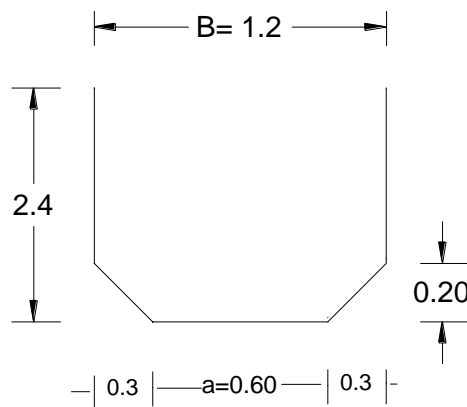


Figura N° 5.4. Corte transversal del canal de evacuación de los sedimentos en modelo.

## DATOS DEL CANAL DESRIPIADOR

Longitud=4.8m, Ancho=1.2m, Profundidad 0.60m, Q=1.5m<sup>3</sup>/s (Prototipo)

Longitud=1.2m, Ancho=0.3m, Profundidad 0.15m, Q=0.046m<sup>3</sup>/s (Modelo)

Los cálculos en el modelo del canal desripiador, fueron realizados con una escala de 1:04, considerando que el canal desripiador fue implementado en el modelo hidráulico anterior construido en el Laboratorio de hidráulica; manteniendo la misma selección de escala, estructuras constitutivas y su funcionamiento.

Todas las dimensiones geométricas son escaladas por un factor de escala de 1:04

$$\begin{array}{ll} \text{Longitud} & L_{\text{modelo}} = L_{\text{prototipo}} / 4 \\ \text{Ancho} & B_{\text{modelo}} = B_{\text{prototipo}} / 4 \\ \text{Profundidad de flujo} & d_{\text{modelo}} = d_{\text{prototipo}} / 4 \end{array}$$

La velocidad de flujo en el modelo se deduce utilizando una similitud de Froude. La similitud de Froude implica que el número de Froude es el mismo tanto en modelo como para el prototipo:

$$\text{Similitud de Froude} \quad Fr_{\text{modelo}} = Fr_{\text{prototipo}}$$

Por lo tanto:

$$\text{Velocidad} \quad V_{\text{modelo}} = V_{\text{prototipo}} / \sqrt{4}$$

Para el caudal, la ecuación de continuidad  $Q=Vbd$  proporciona la relación de escala :

$$\text{Caudal} \quad Q_{\text{modelo}} = Q_{\text{prototipo}} / (4)^{5/2}$$

Como resultado, las características tanto en modelo como en prototipo son:

Descripción	Nomenclatura	Dimensiones		Unidades
		Modelo	Prototipo	
Longitud	L	1.2	4.8	m
Ancho	B	0.3	1.2	m
Profundidad de flujo	D	0.15	0.6	m
Velocidad	V	1.95	3.90	m/s
Caudal	Q	0.046	1.5	m <sup>3</sup> /s

Tabla N° 5.4 Elementos constitutivos del canal desripiador. Elaborado por:  
Jiménez Héctor

Descripción	Nomenclatura	Dimensiones		Unidades
		Modelo	Prototipo	
Longitud	L	2.65	10.6	m
Ancho	B	0.3	1.2	m
Profundidad de flujo	D	0.6	2.4	m
Velocidad	V	1.95	3.90	m/s
Caudal	Q	0.046	1.5	m <sup>3</sup> /s

Tabla N° 5.5 Elementos constitutivos del canal de evacuación de los sedimentos.  
Elaborado por: Jiménez Héctor

#### CÁLCULO DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL CANAL DESRIPIADOR A LO ANCHO DEL CAUCE DEL RÍO ARTURO

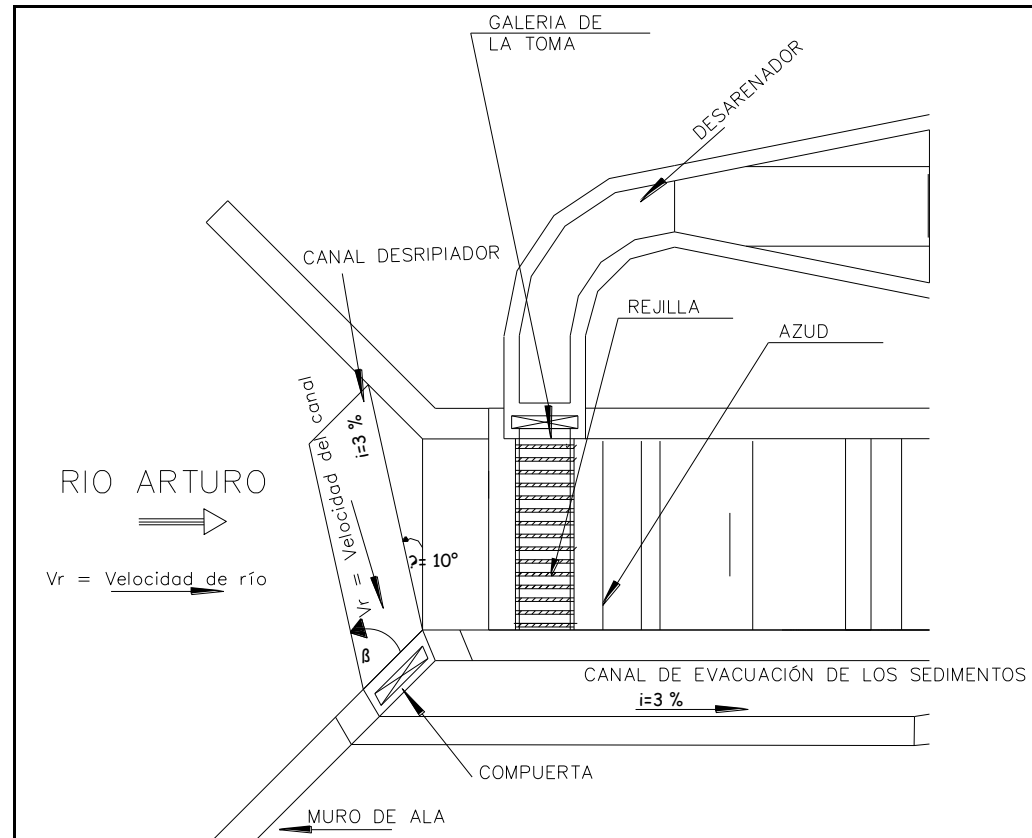


Figura N° 5.5.Planta del ángulo de inclinación del canal desripiador lo ancho del cauce del río Arturo. Elaborado por: Jiménez Héctor

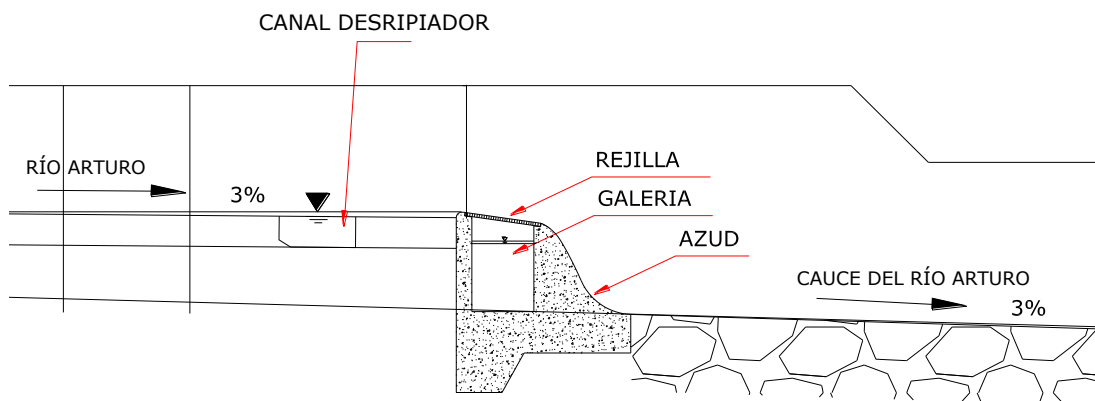


Figura N° 5.6. Corte transversal del canal desripiador y sus diferentes estructuras de toma. Elaborado por: Jiménez Héctor

$$\beta = \arccos \frac{V_r}{V_c}$$

$$\text{Si : } \alpha = 90 - \beta$$

Donde

$V_r$  = Velocidad de río

$V_c$  = Velocidad de canal

$\beta$  = ángulo que forma con la compuerta

$\alpha$  = ángulo que forma con el cauce de río

Velocidad media del río  $V_r = 0.55 \text{ m/s}$  y

Velocidad del canal desripiador  $V_c = 1.95 \text{ m/s}$

$$\beta = \arccos 0.20/0.70$$

$$\beta = 74^\circ$$

$$\alpha = 90 - \beta = 90^\circ - 74^\circ$$

$$\alpha = 16^\circ$$



El ángulo del canal desripador se lo realizó de acuerdo a sugerencias técnicas del departamento técnico del sistema de riego Tabacundo del Consejo Provincial de Pichincha, que consistió en la modificación del ángulo de inclinación a  $16^\circ$  a  $10^\circ$ , permitiendo así un mejor funcionamiento del canal desripador y una mejor lavado del mismo.

La modificación del ángulo de inclinación del canal desripador con respecto a la rejilla de fondo permitió que el canal desripador garantice su implementación con el fin de evacuar los sedimentos arrastrados por el cauce del río Arturo, y así poder evitar el taponamiento de la rejilla de fondo.

### 5.5.1.- SELECCIÓN DE LA ESCALA

En el año 2011 los señores Mayra Narváez y Luis Pérez realizaron en el Laboratorio de Hidráulica un modelo hidráulico para determinar la mejor inclinación de la rejilla de la Toma Caucasiona del río Arturo el mismo que fue realizado con una escala de 1:04, para la presente investigación de tema de tesis previo a la obtención del título de ingeniero civil se implementó un canal desripador en el modelo mencionado anteriormente, el canal desripador se lo construyó con la misma escala de 1:04 para no alterar la funcionalidad de las demás estructuras de toma, ya que con esta se obtuvo una escala geométrica con lo cual se obtiene un caudal trabajable para obtener óptimos resultados.

DIMENSIONES	PROTOTIPO	MODELO				
		ESC 1:02	ESC 1:03	ESC 1:04	ESC 1:05	ESC 1:10
		2	3	4	5	10
<b>LONGITUD MAXIMA</b>	(m)					
Largo	18	6.75	4.50	1.20	2.70	1.35
Ancho	2	1	0.66	0.3	0.4	0.2
<b>VELOCIDAD</b>	(m/s)					
Aproximacion	0.59	0.42	0.34	0.2	0.26	0.19
<b>CAUDAL</b>	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s)				
Maximo	1.73	305.82	110.98	54.06	30.95	5.47
Medio	0.39	68.94	25.02	12.19	6.98	1.23
Minimo	0.09	15.91	5.77	2.81	1.61	0.28
Diseño	1.5	265.17	96.23	46.88	26.83	4.74
Diseño 85%	0.22	38.89	14.11	6.88	3.94	0.7

Tabla N° 5.6 Valores de parámetros según distintas escalas para el modelo hidráulico. Elaborado por Mayra Narváez

## **5.6.- DISPONIBILIDAD FÍSICA E HIDRÁULICA DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

### **5.6.1.- LIMITACIÓN HIDRÁULICA**

Los ensayos realizados en el modelo hidráulico anterior construido en el Laboratorio de Hidráulica no ha presentado ningún impedimento hidráulico con respecto a las bombas las mismas que permiten la dotación de agua al modelo hidráulico, es decir en esta investigación no han variado los caudales con los que se ensayó anteriormente, esta investigación acerca de la implementación de un canal desripador en el modelo hidráulico anterior tiene relación ya que se investigó el mismo río como es el Arturo.

$Q=1.5\text{m}^3/\text{s}$ ,  $V=3.90\text{m/s}$  (Prototipo)

$$\begin{aligned}\text{Caudal} \quad Q_{\text{modelo}} &= Q_{\text{prototipo}}/(4)^{5/2} \\ Q &= 1.5/(4)^{5/2} = 0.046\text{m}^3 / \text{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Velocidad} \quad V_{\text{modelo}} &= V_{\text{prototipo}}/\sqrt{4} \\ V &= 3.90/\sqrt{4} = 1.95\text{m/s}\end{aligned}$$

Necesitando aportar al modelo un caudal máximo de 54,06 l/s lo cual no amerita ninguna restricción ya que la capacidad de las bombas del Laboratorio de Hidráulica es aproximadamente de 100 lts/s.

### **5.6.2.- DISPONIBILIDAD FÍSICA**

El laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas cuenta con el espacio suficiente para la implementación del modelo físico el cual no genera un problema de área dentro del mismo el cual se construyó a una escala de 1:04 cuyo requerimiento dimensional es de 1.20 m de largo por 0.30 metros de ancho, cabe indicar que las modificaciones realizadas en el modelo anterior con la implementación del canal desripador y el canal de evacuación de sedimentos no crea ninguna dificultad con respecto al área.

La implementación del canal desripador se lo construyo a lo ancho del cauce del río en el modelo hidráulico construido anteriormente y el canal de evacuación de

sedimentos no presenta ningún impedimento en espacio ya que su construcción es a lo ancho, lo cual no presentó ninguna dificultad en su construcción.

En modelo a escala 1:04 las dimensiones geométricas del canal de evacuación de sedimentos es:

Longitud=10.6m, Ancho=1.2m, Profundidad 2.4m,  $Q=1.5\text{m}^3/\text{s}$ ,  $V=3.90\text{m/s}$   
(Prototipo)

$$L = 10.6\text{m}/4 = 2.65\text{m}$$

$$B = 1.20\text{m}/4 = 0.30\text{m}$$

$$D = 2.4\text{m}/4 = 0.60\text{m}$$

La escala seleccionada presta las mejores condiciones de trabajo y de construcción del modelo, la misma que se obtuvo a una escala geométrica y de caudales trabajables para obtener los resultados más óptimos para el prototipo.

## **CAPÍTULO VI: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

### **6.1.- INTRODUCCIÓN**

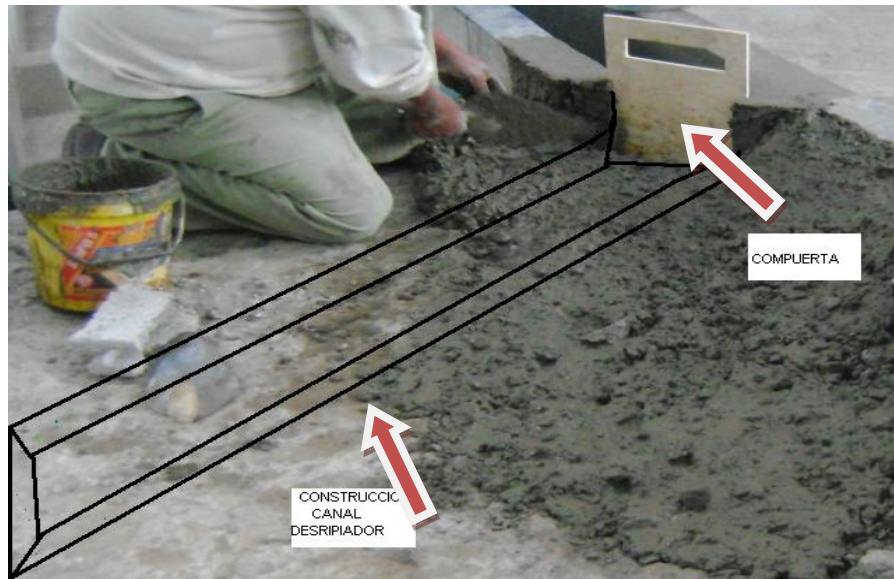
La modelación física construida por los tesistas Narváez Mayra y Pérez Luis , presenta una área de 10 m de largo por 4.25 m de ancho en lo que se refiere a las estructuras que conforman la toma. En cuanto se refiere a las dimensiones del desripiador y del canal de evacuación de sedimentos , en el modelo actual las dimensiones son largo 1.20 m de largo, a lo ancho del río, por 0.30 m de ancho(canal desripiador), y un ángulo de inclinación de  $10^{\circ}$ ; para el canal de evacuación de sedimentos son: 2.65m de largo por 0.30 m de ancho, para así lograr un buen funcionamiento.

### **6.2.- ELABORACIÓN DE PLANOS Y DETALLES DEL MODELO FÍSICO**

Los planos y detalles de la implementación del canal desripiador y del canal de evacuación de sedimentos construido a escala 1:04 en el Laboratorio de Hidráulica están ubicados en el anexo 6.1( capítulo 9).

### **6.3.- CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO.**

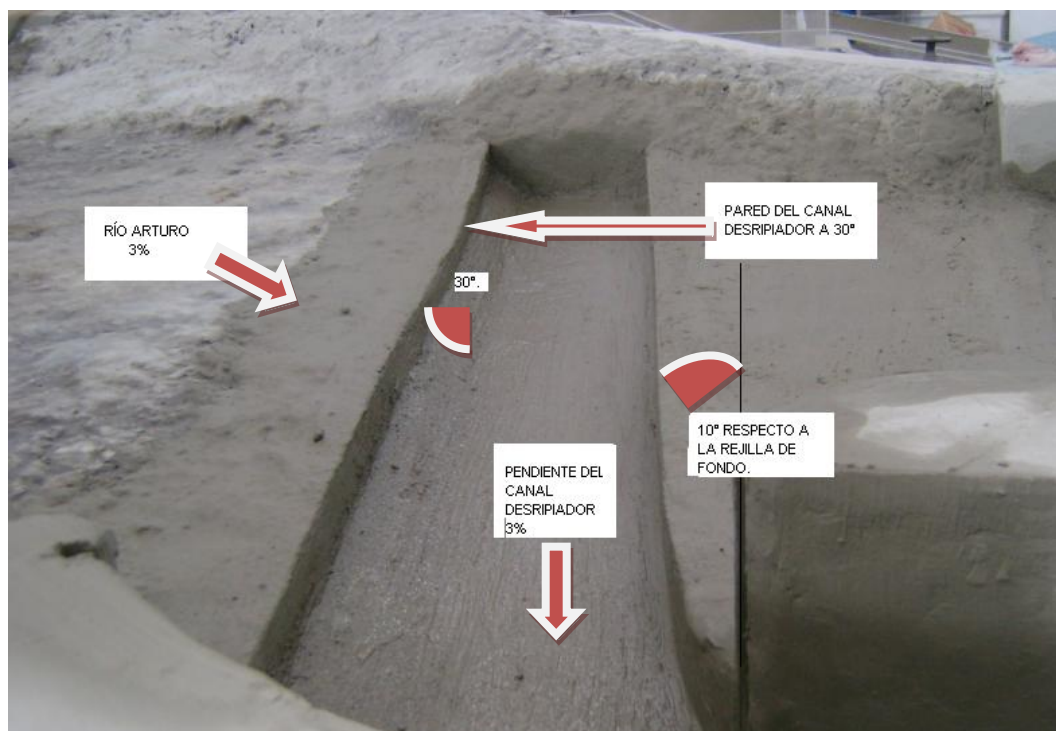
Después de realizar los cálculos pertinentes geométricamente tanto en modelo como en prototipo del canal desripiador y del canal para la evacuación de sedimentos, se construyó la modificación del canal desripiador para controlar la cantidad de sedimentos del río Arturo dentro del laboratorio de hidráulica , el cual partirá, en una primera fase replantear la geometría del modelo, teniendo mucho cuidado en la pendiente del canal desripiador.



Fotografía N° 6.1 Replanteo del canal desriador



Fotografía N° 6.2 Ubicación de la compuerta del canal desriador

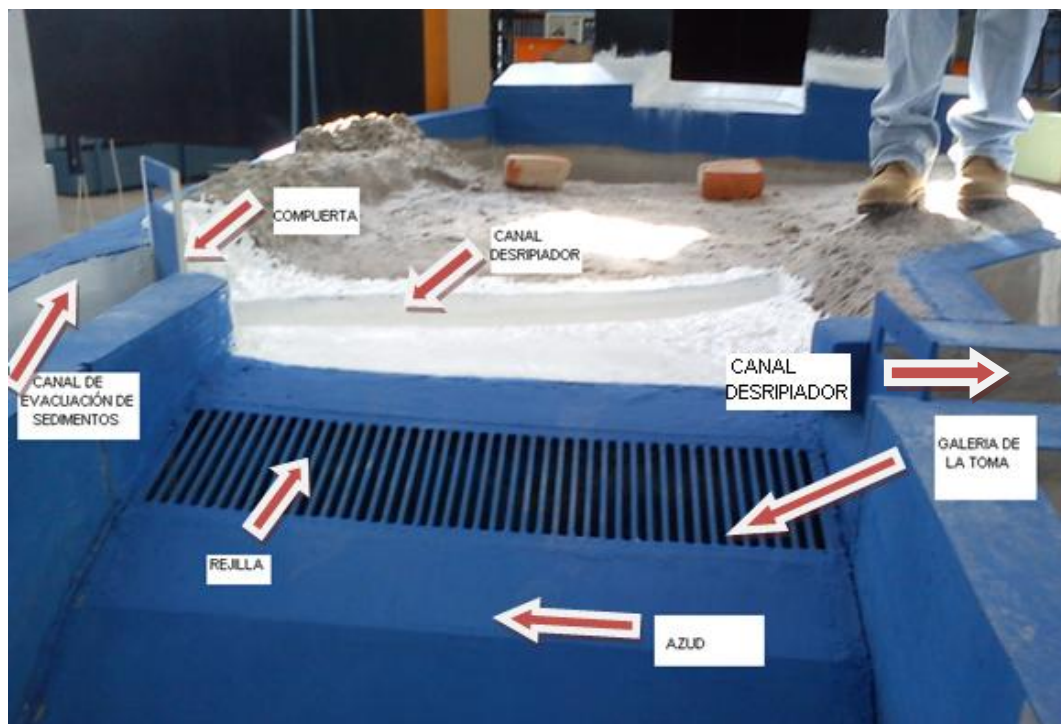


Fotografía N° 6.3 Conformación del canal desripiador y su respectivo ángulo

Se implementó un canal de sección rectangular a lo largo del cauce del río, cabe indicar que en una de sus paredes se realizó una inclinación de 30°, previa autorización y consulta del diseñador y jefe de proyectos del Consejo de la Provincia de Pichincha el Ing. Franklin Burbano, y la inclinación del ángulo es de 10° este canal no está dibujado en los planos originales del Consejo de la Provincia de Pichincha.



Fotografía N° 6.4 Ubicación del canal de recolección de sedimentos



Fotografía N° 6.5 Modelo Hidráulico terminado canal desripiador

El canal que transporta los sedimentos ocupa una área de 2,65 m de largo por 0.30 m, el canal desripiador tiene una área de 1,20 m de longitud por 0.30 m de ancho y un ángulo de inclinación es de 10°.

## **CAPÍTULO VII: CALIBRACIÓN Y PRUEBAS EN EL MODELO**

### **7.1.- CALIBRACIÓN DEL MODELO**

La calibración del modelo físico consiste en la verificación del cumplimiento tanto de la similitud dinámica como geométrica y la determinación de las curvas de descarga del vertedero triangular utilizado en el sistema de aforo.

La fase de calibración del modelo tendrá los siguientes objetivos a seguirse:

- a) Revisión de fugas, filtraciones y niveles en el modelo construido y estructuras en las estructuras de aforo.
- b) Verificación de las secciones de aforo.
- d) Determinación de las curvas de descarga en estructuras de regulación como es el vertedero triangular mediante aforos volumétricos para caudales pequeños y mediante el uso del micro molinete para caudales mayores.
- e) Procesamiento de datos e interpretación de resultados y la presentación de los mismos en forma de gráficos.

#### **Similitud geométrica**

El chequeo de la similitud geométrica consiste en la validación geométrica de las medidas existentes en el modelo físico, esto se realiza mediante un chequeo de medidas a detalle de la estructura hidráulica construida, y luego de la elaboración de los planos respectivos, se confirma la ubicación del canal desripador.

En cuanto a cotas la variación de estas con respecto a un plano relativo entre las diferentes estructuras hidráulicas, las cotas varían en un rango no mayor a 2mm, mientras que el canal desripador tiene una máxima variación de 1mm con respecto al punto inicial del desripador. Cabe recalcar que estos errores se encuentran en rangos inferiores al 1% por lo que se considera como aceptables. Se verifica que la implantación de las estructuras hidráulicas en modelo representan eficazmente las estructuras en prototipo.



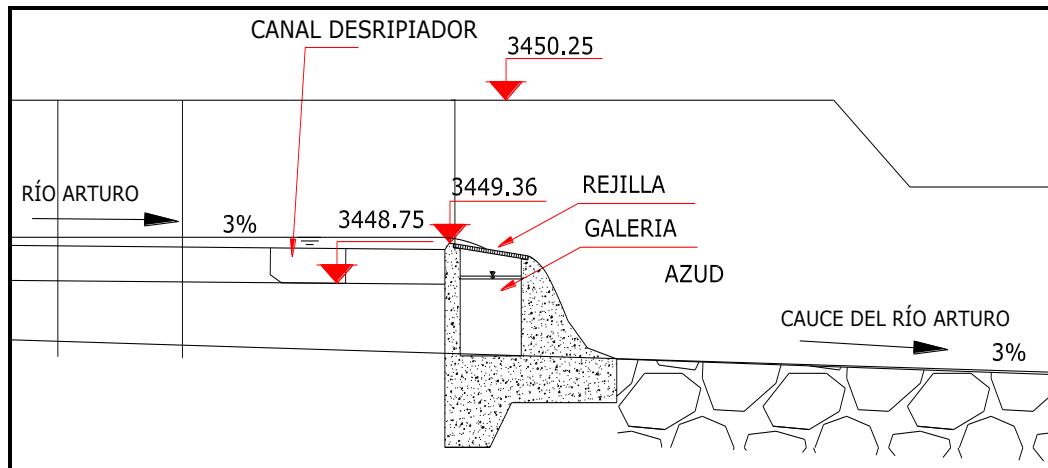


Figura N° 7.1 Niveles Prototipo. Desripiador

### Comportamiento dinámico

El comportamiento dinámico del flujo verifica que el efecto combinado de la tensión superficial y de la viscosidad sean mínimos en el comportamiento del flujo en las estructuras hidráulicas. Esta comprobación se la realiza determinando el número de Reynolds y el número de Weber mediante la medición de velocidades y calados en el canal.

La condición principal para esta verificación se basa en la siguiente expresión:

$$Re^{0.2} * We^{0.6} > 900$$

Mientras que para el cálculo del número de Reynolds y el número de weber se utilizan las siguientes expresiones:

$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000Kg/m^3 * 1.95m/s * 1.20}{1.31E^{-03}kg}$$

$$Re = 1786$$

$$We = \frac{\sqrt{gh}}{\sqrt{\sigma/(\rho * h)}}$$

$$We = \frac{\sqrt{9.81 * 0.30}}{\sqrt{7.28E-5 * (1000 * 0.30)}}$$

$$We = 6.358$$

$$Re^{0.2} * We^{0.6} > 900$$

$$1786^{0.2} * 6358^{0.6} > 900$$

$$955 > 900$$

Dónde:

Re : Número de Reynolds	$\mu = 1.31E-03 \text{ kg/(m.s)}$
We: Número de Weber	$\rho = 1000 \text{ kgm/m}^3$
$\rho$ : densidad del fluido	$\gamma = 1000 \text{ kgp/m}^3$
$\mu$ : viscosidad cinemática	$\sigma = 7.28E-05 \text{ KN/m}$
V : velocidad de referencia	$u = 1.31E-06 \text{ m}^2/\text{s} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$
$\sigma$ : tensión superficial	
$\rho$ : densidad del fluido	
V : velocidad de referencia	
L : longitud de referencia	

Para la obtención de velocidades se utilizó un micro molinete marca PVD100 (Point Velocity Display), la medición de velocidades se la realizó aguas arriba en el cauce del río.



Fotografía N° 7.1 Micro Molinete

También se debe garantizar que el flujo en el cauce del río Arturo sea turbulento completamente desarrollado, así la pérdida de energía queda determinada por intercambio de cantidades de movimiento interviniendo solo las variaciones de presión y velocidad.

De donde se concluye que los efectos de la tensión superficial y de la viscosidad en el flujo son mínimos en el modelo físico y que el flujo en el canal desripiador es turbulento completamente desarrollado.

### 7.1.1.- MEJORAS EN EL MODELO

Las mejoras obtenidas en el modelo de acuerdo al estudio de arrastre de sedimentos se obtuvo un transporte unitario de sedimentos de fondo de 1630 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año, resultados que justifican la construcción del canal desripiador a lo ancho del cauce del río con un ángulo de inclinación de 10° y el canal de evacuación de sedimentos respectivamente.

$$V_a = \frac{V_s}{V} (m^3 / km^2 / año) \quad (4-16)$$

V<sub>s</sub> = peso de sedimentos

V = densidad media

V<sub>a</sub> = volumen de sedimentos por unidad de área.

A = 7.1 km<sup>2</sup>

V<sub>s</sub> = 2200 Ton / km<sup>2</sup> (fig. 4.6)

V = 1.35 Ton/m<sup>3</sup> (asumido)

V<sub>a</sub> = 2200 / 1.35

V<sub>a</sub> = 1630 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año

El canal desripiador permite que los sedimentos no pasen hacia la reja de fondo permitiendo obtener agua limpia libre de sedimentos, es decir que cumple con el objetivo planteado en este trabajo de investigación.

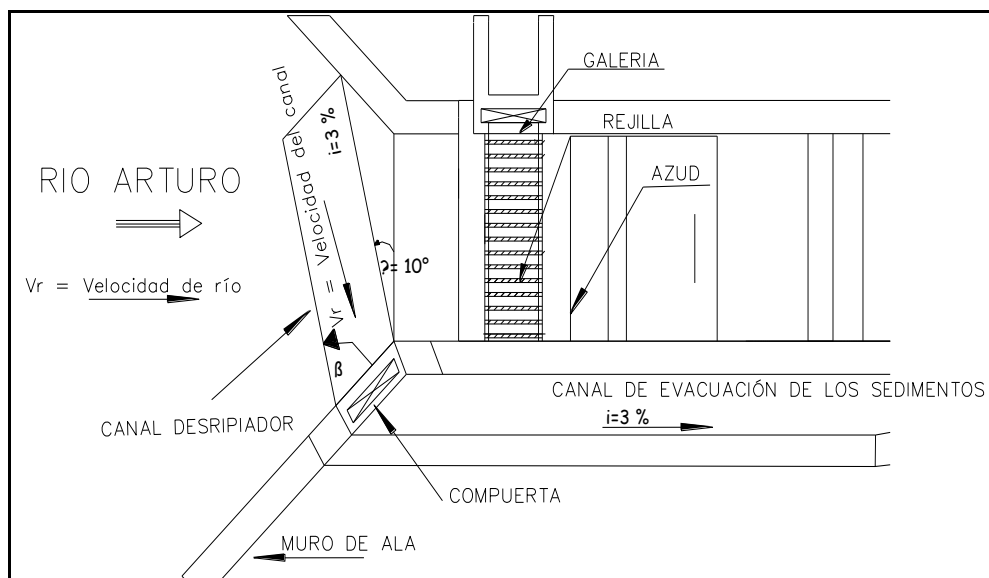


Figura N° 7.2 Mejoras del modelo actual

### 7.1.2.- PRUEBAS

Las pruebas consistieron en la toma de datos que permitan evaluar el caudal que capta el sistema en función del comportamiento del arrastre de los sedimentos.

Se corrió el modelo con varios caudales como se indica:

$$Q_{m\acute{a}x_p} = 1.73 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{m\acute{a}x_m} = 54.06 \text{ l} / \text{s}$$

$$Q_{med_p} = 0.39 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{med_m} = 12.19 \text{ l} / \text{s}$$

$$Q_{min_p} = 0.09 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{min_m} = 2.81 \text{ l} / \text{s}$$

$$Q_{dis_p} = 1.50 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{dis_m} = 46.88 \text{ l} / \text{s}$$

Caudal de diseño recomendado al 85% para riego

$$Q_{dis85\%_p} = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{dis85\%_m} = 8.88 \text{ l} / \text{s}$$

### Caudales y alturas para el vertederos rectangular con contracciones

Descripción	Caudal ( l/s)	Calado en el Vertedero ( cm)
Caudal Mínimo ( Q min)	2.81	1.88
Caudal diseño recomendado ( Q 85%)	6.88	3.42
Caudal Medio ( Q med )	12.19	5.01
Caudal de diseño (Q1.15%)	46.88	12.29
Caudal máximo(Q máx.)	54.05	13.52

Tabla N°. 7.1 Caudales y alturas de ingreso al sistema de toma.

De esta manera se estabilizó el caudal de ingreso al sistema de toma, para posterior realizar las pruebas en el modelo con sedimentos y evaluar su comportamiento para complementar la investigación.

El flujo puede transportar materiales tales como sedimentos de fondo, sedimentos en suspensión o los dos a la vez. Los sedimentos de fondo se refiere al material más grande que rueda o rebota a lo largo del cauce y los sedimentos en suspensión son los más pequeños que se encuentran en el agua.

Las pruebas se realizaron con sedimentos, preparados como es tamizado y pintado de diferentes colores para diferenciar su granulometría y poder identificar su comportamiento en las diferentes pruebas.

### Clasificación de Sedimentos

Descripción	Diámetro Modelo (mm)	Diámetro Prototipo ( mm)	Observaciones
Tamiz # 1	25	100	Color Amarillo
Tamiz # 3/8	10	40	Color Verde
Tamiz # 4	5	20	Color Azul
Tamiz # 8	2.36	9.44	Color Rojo
Arena	0.6-2		Arena

Tabla N° 7.2 Clasificación de Sedimentos.



Fotografía N° 7.2 Clasificación e identificación de sedimentos



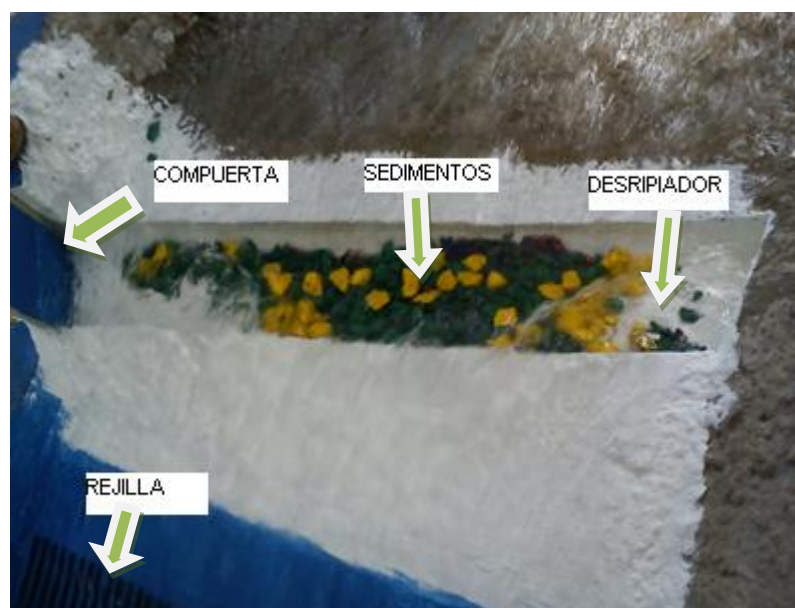
Fotografía N° 7.3 Clasificación e identificación de sedimentos

Las pruebas consistieron en agregar los sedimentos al curso de agua, con los diferentes caudales con los que se realizó los ensayos.



Fotografía N° 7.4 Cauce natural del río sin sedimentos

Caudal Mínimo  $Q_{\min_p} = 0.09 \text{ m}^3 / \text{s}$  y  $Q_{\min_m} = 2.81 \text{ l} / \text{s}$

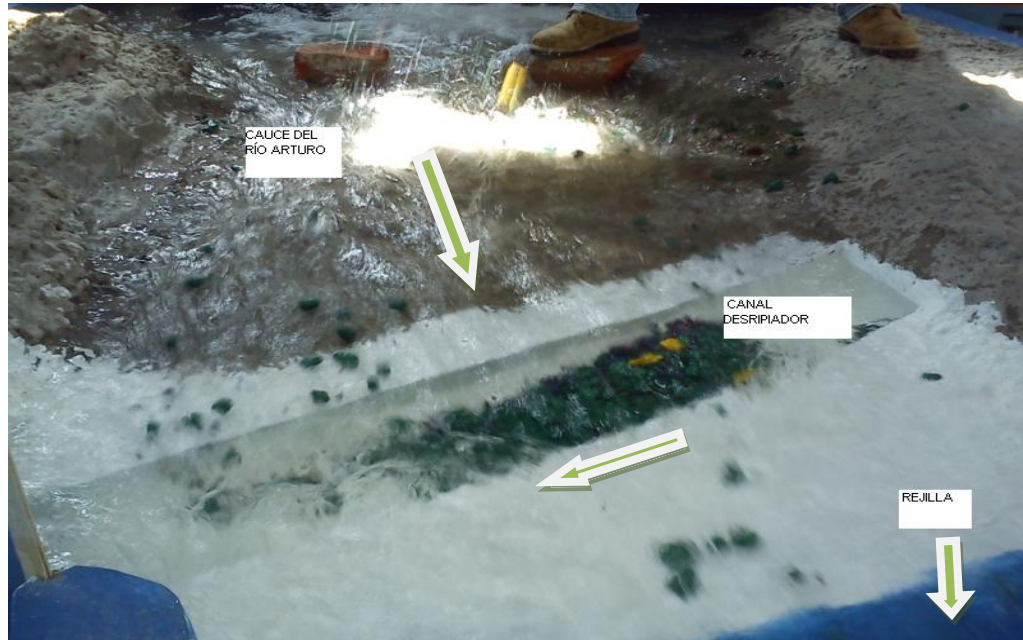


Fotografía N° 7.5 Comportamiento de los sedimentos con el Caudal mínimo



**Caudal diseño recomendado 85% para riego**

$$Q_{dis85\%_p} = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{dis85\%_m} = 8.88 \text{ l} / \text{s}$$



Fotografía N° 7.6 Comportamiento de los sedimentos con el Caudal diseño 85% recomendado.

**Caudal medio**  $Q_{med_p} = 0.39 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{med_m} = 12.19 \text{ l} / \text{s}$



Fotografía N° 7.7 Comportamiento de los sedimentos con el caudal medio



**Caudal de diseño**  $Q_{dis_p} = 1.50 \text{ m}^3 / \text{s}$  y  $Q_{dis_m} = 46.88 \text{ l} / \text{s}$

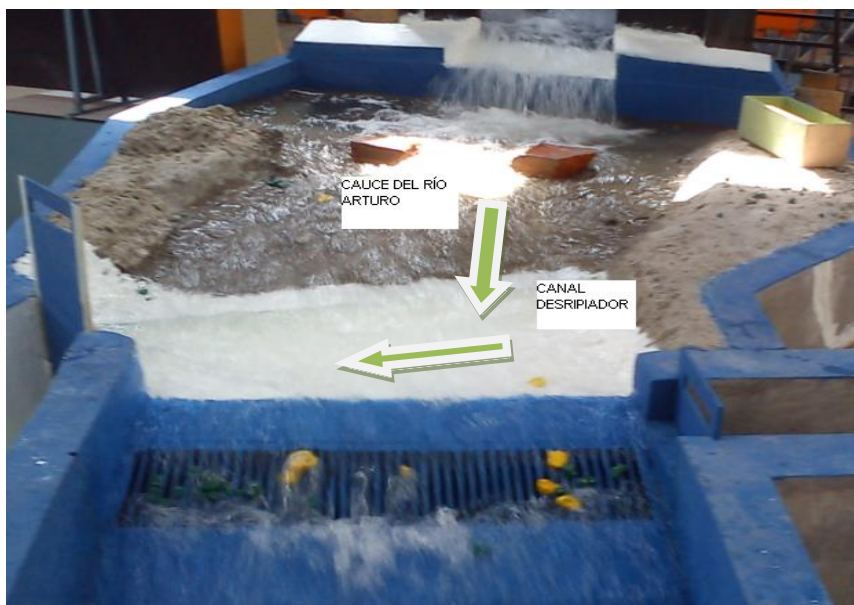


Fotografía N° 7.8 Comportamiento de los sedimentos con el caudal de diseño

**Caudal máximo**  $Q_{máx_p} = 1.73 \text{ m}^3 / \text{s}$  y  $Q_{máx_m} = 54.06 \text{ l} / \text{s}$



Fotografía N° 7.9 Comportamiento de los sedimentos con el caudal máximo



Fotografía N° 7.10 Sedimentos que pasaron hacia la rejilla.

### 7.1.3.- OBTENCIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el modelo con arrastre de sedimentos, con y sin canal desripiador

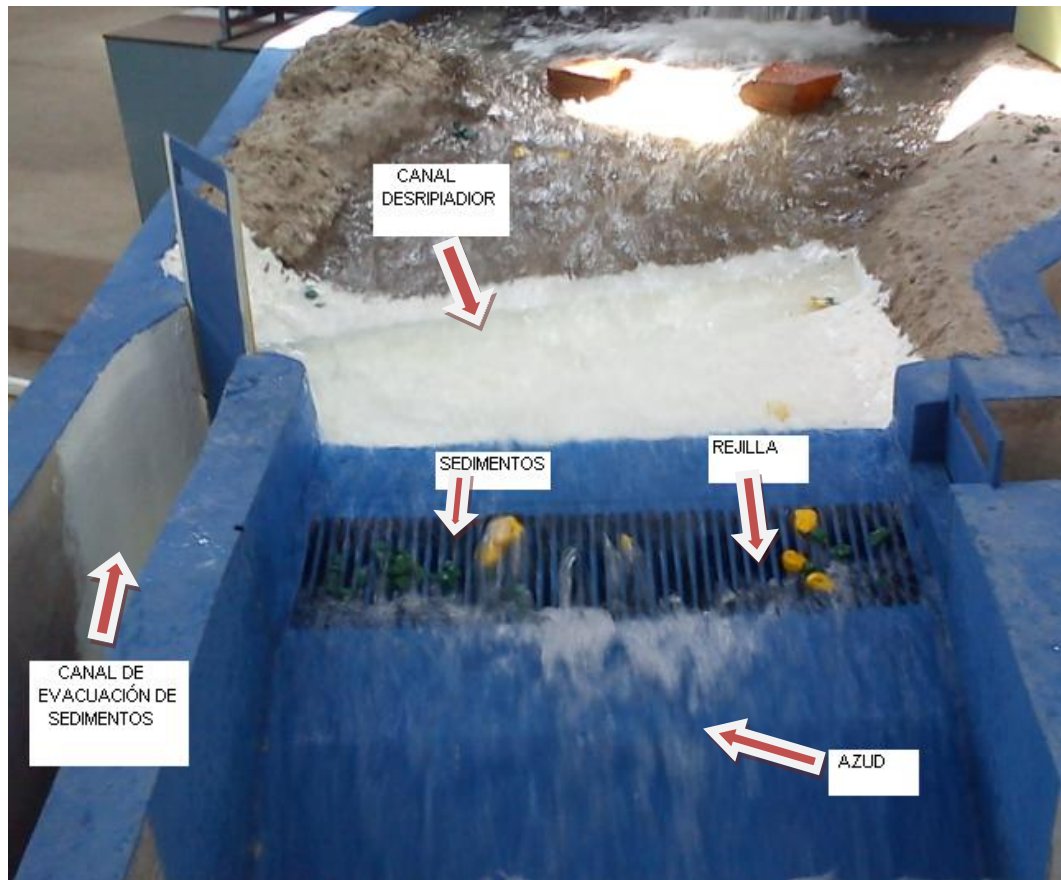
Resultados que garantiza la eficiencia y correcto funcionamiento del canal desripiador con y sin sedimentos.

#### a) Modelo Anterior



Fotografía N° 7.11 Modelo de Investigación anterior

b) Modelo Actual



Fotografía N° 7.12 Obra de toma con desripiador

Caudales Modelo Q (l/s)		Sedimentos que pasan hacia la rejilla	
		Modelo Anterior	Modelo Actual
Mínimo	2.81	89.5	1.03
Diseño al 85%	6.88	83.85	6.25
Medio	12.19	70.36	16.2
Diseño	46.88	56.03	21.69
Máximo	54.06	50.45	24.98

Tabla N° 7.3 Comparación de eficiencia con y sin Desripiador.



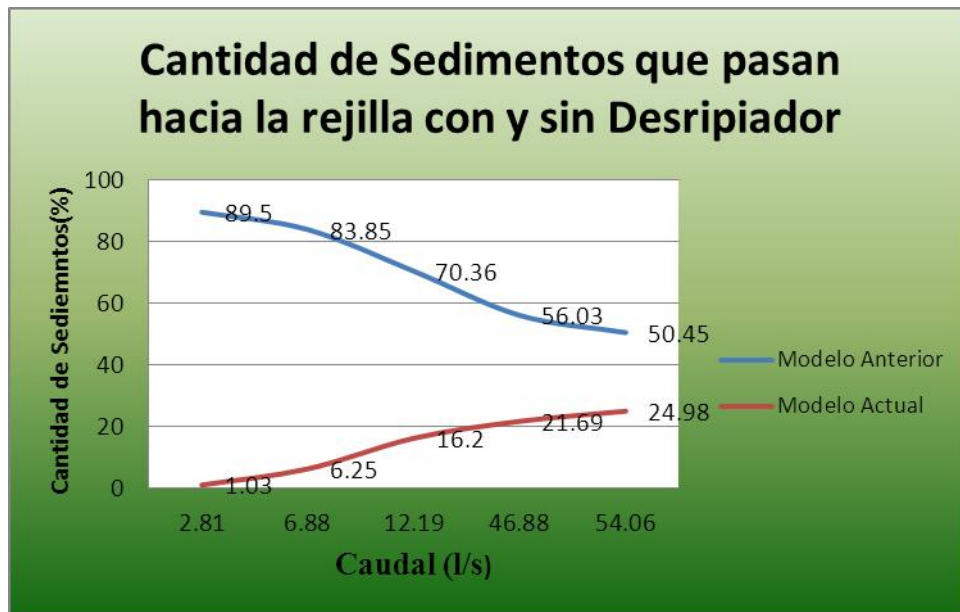


Grafico No 7.1 Curva de Eficiencia con y sin Desripiador.

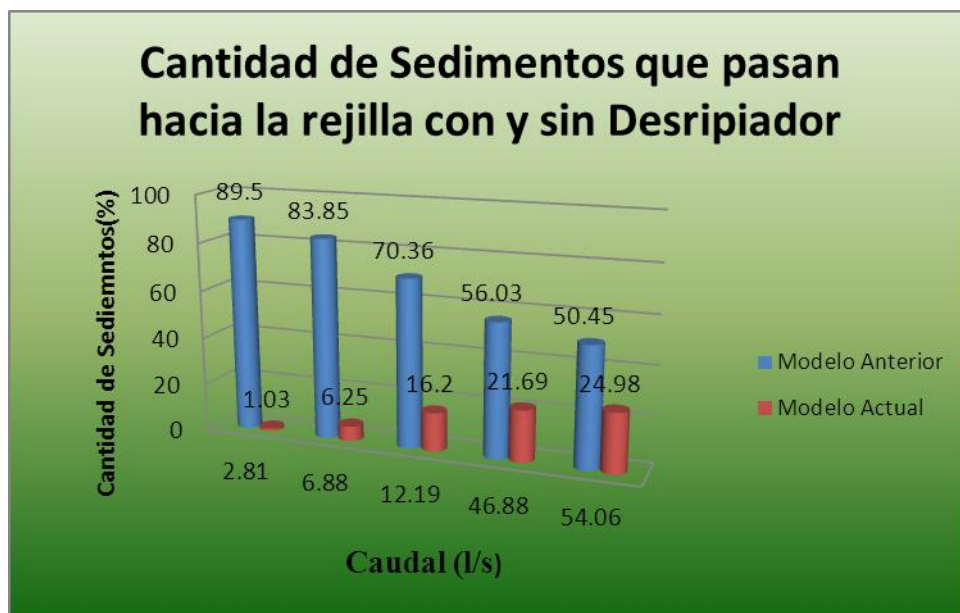


Grafico No 7.2 Porcentaje de Sedimentos que pasan hacia la rejilla con y sin Desripiador.

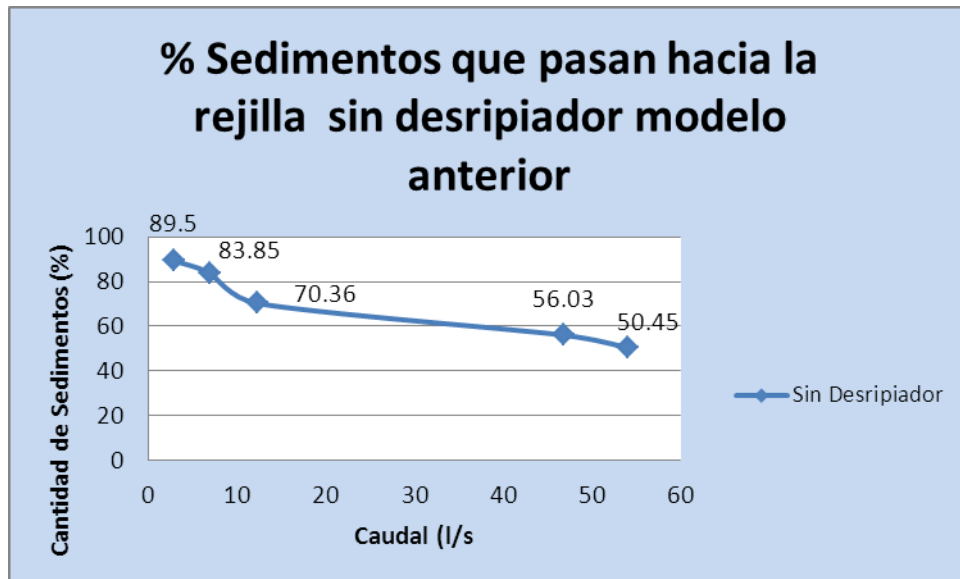


Grafico No 7.3 Curva de Eficiencia sin Desripiador.

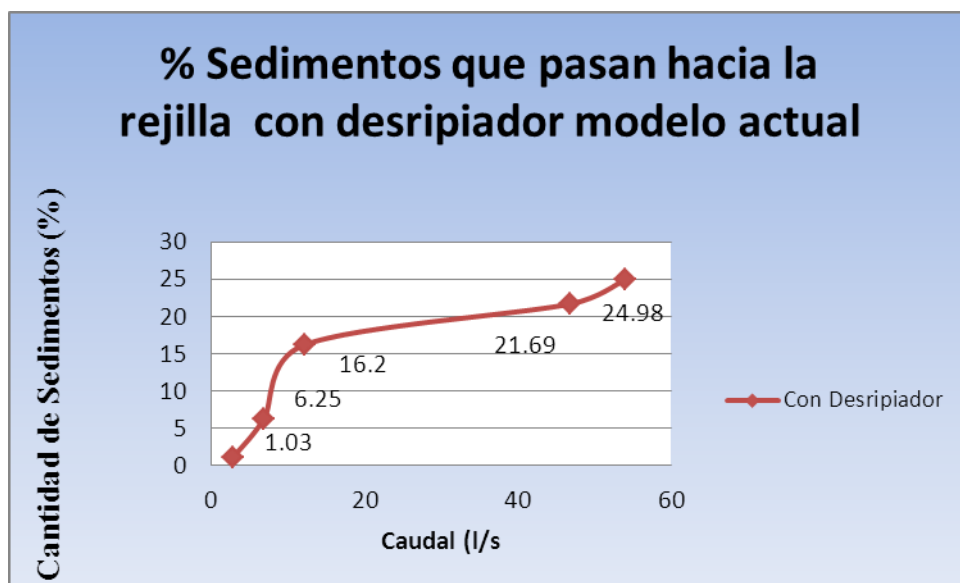


Grafico No 7.4 Curva de Eficiencia con Desripiador.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la eficiencia del canal desripiador es significativamente alta ya que este capta gran cantidad de sedimentos, lo que no permite que pase hacia la reja garantizando su implementación.

Con caudales pequeños la eficiencia es del 94-99% y con caudales mayores la eficiencia es del 75-78% esto se debe a que con grandes caudales vamos a tener mayor cantidad de sedimentos y mayor velocidad del cauce del río.

## **CAPÍTULO VIII: ANALISIS DE RESULTADOS**

### **8.1.- INTRODUCCIÓN**

Para un diseño adecuado de una obra de captación no existen métodos analíticos para determinar un funcionamiento garantizado de la toma ya que intervienen muchos parámetros en el análisis del movimiento del agua y el comportamiento del sedimento que acarrea el río. El método más aceptable para analizar el comportamiento de una captación de cualquier tipo, es la modelación física en laboratorio.

Aun así en ciertos casos no se tiene una completa similitud geométrica y dinámica del comportamiento del material sólido de río, esto es debido a que dependiendo del factor de escala que se acepte para la modelación es muy complicado simular un espesor de partícula en suspensión de prototipo a modelo, es por eso que se acoplan diámetros aproximados a los de prototipo.

Es por este factor que a la modelación se la evalúa comparativamente para predecir y simular volúmenes de material sólido. Se recalca que las captaciones que han funcionado mejor son aquellas que fueron analizadas en modelo, antes de su construcción.

### **8.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con los resultados obtenidos en cada una de las diferentes pruebas o corridas en el modelo y con los gráficos de las eficiencias se puede realizar una comparación real. para que así el estudiante pueda ser crítico en el comportamiento de una estructura hidráulica y en el comportamiento de los sedimentos que son arrastrados por el cauce del río Arturo hacia la obra de captación los mismos que son sometidos a condiciones experimentales.

El desarrollo de los estudios de arrastre de sedimentos y también de los cálculos y resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en la presente investigación, esto nos va a servir para que el propio estudiante tenga la capacidad de evaluar y dar soluciones a cada una de las diferentes interrogantes obtenidas en los ensayos.

### **8.3.- COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS TEÓRICO CON EL PRÁCTICO**

Dado que el modelo físico cumple con las condiciones de similitud geométrica y dinámica planteadas en la investigación, los resultados obtenidos y el análisis de las mediciones en el modelo son válidas para el prototipo pudiendo decir que se han tenido resultados bastante satisfactorios en el Modelo Hidráulico Físico Reducido del Flujo en una Toma de Fondo tipo Caucasiona o Tirolesa del Sistema de Riego Tabacundo ubicada en el Río Arturo.

#### **MODELACIÓN FÍSICA.**

La importancia de la modelación física radica en que las ecuaciones de diseño son de carácter bidimensional y unidimensional, al no existir ecuaciones que representen en su totalidad el fenómeno es necesaria la modelación física donde se puede apreciar los fenómenos hidráulicos en sus tres dimensiones y así optimizar el diseño teórico.

#### **MODELACIÓN NUMÉRICA**

Los modelos matemáticos se emplean para los análisis a nivel más global, incluyendo por ejemplo el análisis de sensibilidad de la influencia de las condiciones de borde aguas abajo de un tramo de río, la modelación matemática se enfoca en la estimación de la erosión general en un tramo de río y realiza el análisis para flujo no permanente; mientras que en el modelo físico estudia en detalle el patrón de erosión en el cauce urbano. Se pueden emplear algunos tipos de modelos matemáticos los que pueden ser modelo unidimensional, bidimensional.

El modelo unidimensional estudia el efecto del nivel de agua, el bidimensional modela la erosión y sedimentación en régimen no permanente utilizando elementos finitos para modelar en detalle los niveles de agua y velocidades. Los modelos numéricos producen resultados semejantes con los valores medidos tanto en el prototipo como en el modelo físico

#### 8.4.- ANÁLISIS DE VARIANTES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA DEL MODELO

El río Arturo, está dentro del concepto de un río de montaña, definiéndolo como aquel río proveniente de los deshielos de los nevados cuya agua que circula cerca de su nacimiento tiene altas velocidades debido a las fuertes pendientes que propias de la morfología de las montañas de la sierra, cuya agua acarrea alta cantidad de material suspendido y cuyo caudal es menor comparados con los ríos de llanura, aguas abajo del nacimiento de los ríos de montaña su caudal va aumentando y su velocidad se reduce ya que la pendiente del río disminuye también.

Se realizaron dos ensayos al correr el modelo hidráulico para determinar la forma, funcionamiento del canal desripiador.

1. El primer ensayo se realizó en un canal desripiador rectangular a lo ancho del cauce del río, con un ángulo de inclinación de  $16^\circ$  se pudo observar una gran acumulación de sedimentos en una de las paredes del canal. Al levantar la compuerta del mismo no se consiguió un óptimo lavado de los sedimentos canal desripiador.



Fotografía N° 8.1 Canal desripiador



En un segundo ensayo del canal desripiador se realizaron dos modificaciones de acuerdo a sugerencias técnicas del Departamento Técnico del Sistema de Riego Tabacundo del Consejo Provincial de Pichincha, que consistió en la modificación del ángulo de inclinación a  $10^\circ$  y en una de las paredes del canal desripiador a  $30^\circ$ , permitiendo así un mejor funcionamiento del canal desripiador y una mejor lavado del mismo.



Fotografía N° 8.2 pendiente del canal desripiador

#### CONCLUSION:

1. La primera modificación corresponde a cambiar de sección del fondo del canal desripiador de recta a inclinada cuyo ángulo es de  $30^\circ$ .
2. La segunda modificación corresponde a la modificación del ángulo de inclinación de  $16^\circ$  a  $10^\circ$

Como conclusión: las modificaciones 1 y 2 logran optimizar la limpieza del canal desripiador lo que permite que los sedimentos que pasan hacia la rejilla y la galería son en un porcentaje mínimo.

Se analizó los criterios de diseño básicos para las captaciones de ríos de montaña y de esta forma compararlos con el criterio tomado por los diseñadores del Proyecto del Sistema de Riego Tabacundo.

### **8.5.- JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE LA VARIANTE SELECCIONADA**

El énfasis de los estudios experimentales de laboratorio estuvo en la determinación del estudio de arrastre de sedimentos e implementación de un canal desripiador claro esta previa justificación la misma.

La eficiencia del canal desripiador es significativamente alta de acuerdo a los diferentes ensayos, ya que este capta gran cantidad de sedimentos, lo que no permite que el material arrastrado por el río Arturo pase hace la reja garantizando así implementación.

Con caudales pequeños la eficiencia es del 94-99% y con caudales mayores la eficiencia es del 75-78% esto se debe a que con grande caudales vamos a tener mayor cantidad de sedimentos y mayor velocidad del cauce del río.

Según los presentes ensayos se puede justificar la eficiencia del canal desripiador frente a la cantidad de sedimentos que arrastra el cauce del río.

Es muy importante la construcción e implantación de un desripiador, para que en crecidas esta detenga el material de arrastre ya que por las condiciones propias de un río de montaña, tiene alto contenido de sólidos de gran tamaño, para que no se produzca la obstrucción de la rejilla y más aún garanticen la estabilidad de la estructura.

Se tiene una gran cantidad de sedimentos por unidad de área  $1630 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ , la cual justifica técnicamente la implementación del desripiador en la estructura de toma ubicada en el río Arturo.

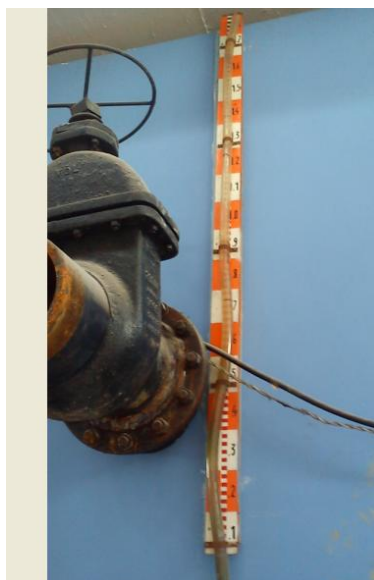
## **CAPÍTULO IX: MANUAL DE USUARIO PARA OPERAR EL MODELO FISICO LIH**

### **9.1.- ENCENDIDO DEL SISTEMA DE BOMBEO**

Para el encendido del sistema de bombeo se debe encender las dos bombas del cuarto de máquinas y observar que el nivel del piezómetro suba hasta su nivel máximo el mismo que se encuentra en la parte superior derecha del cuarto de máquinas, las bombas tienen un sistema automático de flotadores, el mismo que permite que el agua no sobrepase su nivel máximo de capacidad.



Fotografía N° 9.1 Encendido de Bombas



Fotografía N° 9.2 Piezómetro para medir la altura dinámica del agua

Una vez verificado que el nivel del piezómetro que se encuentra en su máxima capacidad se procede a abrir la válvula para que el agua ingrese por medio de tuberías hacia el tanque de carga que forma parte del modelo físico.



Fotografía N° 9.3 Válvulas de Control da ingreso del caudal al modelo

## 9.2.- VERIFICACIÓN DEL CAUDAL A TRAVÉS DE VERTEDEROS CALIBRADOS

Se procede a través de los diferentes vertederos calibrados a la verificación de los caudales de diseño, máximo, mínimo y medio.

$$Q_{máx_p} = 1.73 \text{ m}^3 / s \quad \text{y} \quad Q_{máx_m} = 54.06 \text{ l} / s$$

$$Q_{med_p} = 0.39 \text{ m}^3 / s \quad \text{y} \quad Q_{med_m} = 12.19 \text{ l} / s$$

$$Q_{min_p} = 0.09 \text{ m}^3 / s \quad \text{y} \quad Q_{min_m} = 2.81 \text{ l} / s$$

$$Q_{dis_p} = 1.50 \text{ m}^3 / s \quad \text{y} \quad Q_{dis_m} = 46.88 \text{ l} / s$$

Caudal de diseño recomendado al 85% para riego

$$Q_{dis85\%_p} = 0.22 \text{ m}^3 / s \quad \text{y} \quad Q_{dis85\%_m} = 8.88 \text{ l} / s$$

## VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIONES DE INGRESO AL MODELO

El caudal de ingreso a la toma se lo reguló mediante un vertedero rectangular ubicado en el tanque de carga hacia la toma:



Fotografía N° 9.4 Tanque de carga hacia la toma

Este vertedero corresponde a un vertedero rectangular con contracciones laterales de pared delgada.

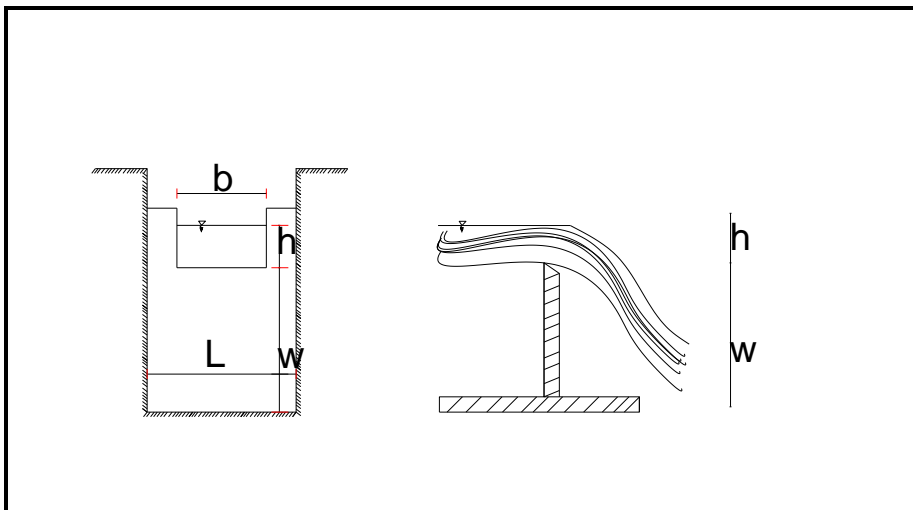


Figura N° 9.1 Sección Transversal

Figura N° 9.2 Elevación

Vertedero rectangular con contracciones

## **CURVA DE DESCARGA VERTEDERO RECTANGULAR**

Su ecuación corresponde a:

$$Q = C * L * h^{3/2} \quad \text{ECUACIÓN GENERAL PARA VERTEDEROS}$$

Dónde:

Q= Caudal experimental

C= coeficiente =1.088

L= ancho del vertedero= 0.60m

$$Q = C * L * h^{3/2}$$

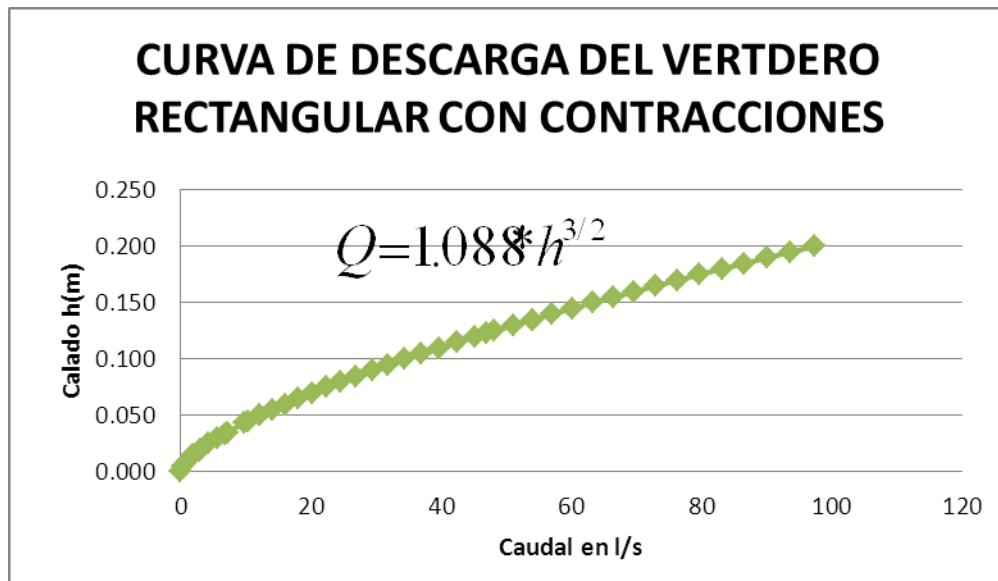
Su ecuación corresponde a:

$$Q = C * L * h^{3/2} \quad \text{ECUACIÓN GENERAL PARA VERTEDEROS}$$

$$Q = 1.088 * h^{3/2}$$

Q experimental	Calado (h)	
l/s	m	
0	0.000	
0.385	0.005	
1.088	0.010	
1.999	0.015	
2.81	0.019	Q mínimo
3.077	0.020	
4.301	0.025	
5.653	0.030	
6.881	0.034	Q diseño 85% recomendado
7.124	0.035	
9.871	0.044	
10.386	0.045	
12.164	0.050	
12.19	0.050	Q medio
14.034	0.055	
15.99	0.060	
18.03	0.065	
20.15	0.070	
22.347	0.075	
24.619	0.080	
26.962	0.085	
29.376	0.090	
31.858	0.095	
34.406	0.100	
37.018	0.105	
39.693	0.110	
42.43	0.115	
45.227	0.120	
46.882	0.123	Q diseño
48.083	0.125	
50.997	0.130	
53.967	0.135	
54.057	0.135	Q máximo
56.993	0.140	
60.073	0.145	
63.207	0.150	
66.394	0.155	
69.632	0.160	
72.921	0.165	
76.261	0.170	
79.65	0.175	
83.088	0.180	
86.574	0.185	
90.107	0.190	
93.687	0.195	
97.314	0.200	

Tabla N° 9.1 Valores calculados para graficar vertedero rectangular



### VERTEDERO TRIANGULAR

Es un vertedero triangular simétrico con un ángulo en el vértice de  $\theta=60^\circ$ .



Fotografía N° 9.5 Vertedero Triangular



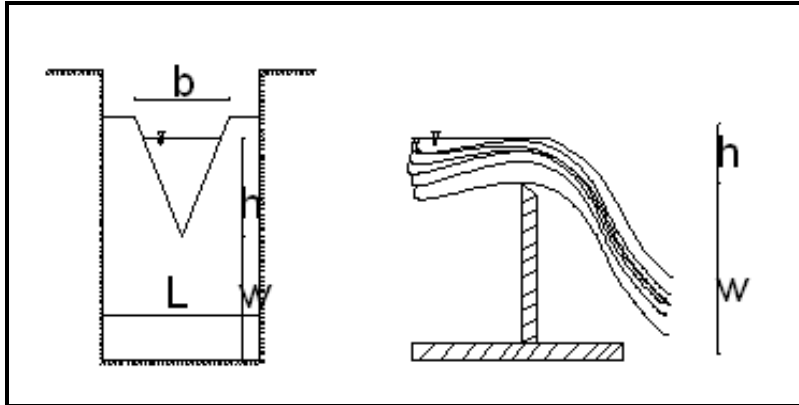


Figura N° 9.3 Sección Transversal

Figura N° 9.4 Elevación

Vertedero Triangular

### **CURVA DE DESCARGA VERTEDERO TRIANGULAR**

La ecuación de este vertedero está dada por:

$$Q = C * L * h^{3/2} \quad \text{ECUACIÓN GENERAL PARA VERTEDEROS}$$

Donde C está dado por:

$$C = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * \mu * h^{5/2} \quad \text{ECUACIÓN GENERAL DE VERTEDEROS}$$

Se ha aplicado la fórmula de Heyndrickn ya que es bastante precisa para  $\theta=60^\circ$ .y cargas normales.

$$\mu = \left[0.5775 + 0.214h^{1.25}\right] * \left\{1 + \left[\frac{h^2}{B(h+w)}\right]^2\right\}$$

Datos:

$$h = 0.30 \text{ m}$$

$$b = 0.48 \text{ m}$$

$$w = 0.21 \text{ m}$$

$$\theta = 60^\circ.$$

Entonces tenemos que =

$$\mu = 0.6307$$

Por lo que asumimos  $\mu = 0.63$

$$Q = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * u * h^{5/2}$$

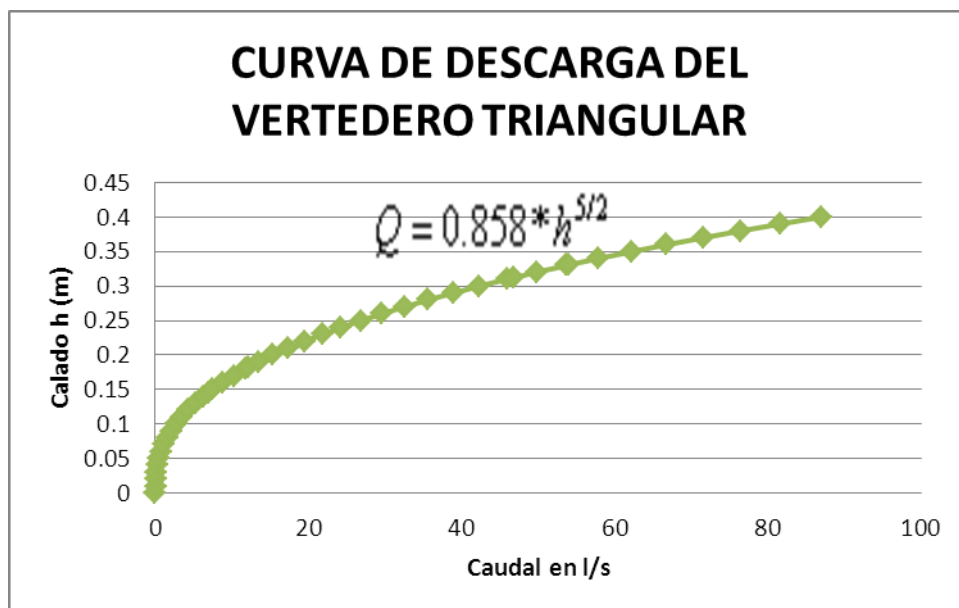
$$Q = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * 9.8} * \tan\left(\frac{60}{2}\right) * 0.63 * h^{5/2}$$

$$Q = 0.858 * h^{5/2}$$

Q experimental l/s	Calado ( h ) m	
0	0	
0.009	0.01	
0.049	0.02	
0.134	0.03	
0.275	0.04	
0.48	0.05	
0.757	0.06	
1.114	0.07	
1.555	0.08	
2.087	0.09	
2.716	0.1	
2.81	0.101	Q mínimo
3.447	0.11	
4.285	0.12	
5.234	0.13	
6.3	0.14	
6.888	0.145	Q diseño 85% recomendado
7.486	0.15	
8.796	0.16	
10.236	0.17	
11.808	0.18	
12.19	0.182	Q medio
13.517	0.19	
15.366	0.2	

17.36	0.21	
19.501	0.22	
21.793	0.23	
24.239	0.24	
26.844	0.25	
29.609	0.26	
32.539	0.27	
35.636	0.28	
38.903	0.29	
42.344	0.3	
45.962	0.31	
46.88	0.312	Q diseño
49.759	0.32	
53.738	0.33	
54.06	0.331	Q máximo
57.902	0.34	
62.253	0.35	
66.796	0.36	
71.532	0.37	
76.463	0.38	
81.593	0.39	
86.925	0.4	

Tabla N° 9.2 Valores calculados para graficar vertedero triangular



### 9.3.- REGULACIÓN DEL CAUDAL EN FUNCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO.

Se procede a regular el caudal a través de la válvula de compuerta y luego se mide con el vertedero rectangular el caudal aguas arriba del modelo hidráulico

Los caudales a estabilizar para realizar la práctica son caudal máximo, caudal medio, caudal mínimo y caudal de diseño.

$$Q_{máx_p} = 1.73 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{máx_m} = 54.06 \text{ l} / \text{s}$$

$$Q_{med_p} = 0.39 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{med_m} = 12.19 \text{ l} / \text{s}$$

$$Q_{min_p} = 0.09 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{min_m} = 2.81 \text{ l} / \text{s}$$

$$Q_{dis_p} = 1.50 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{dis_m} = 46.88 \text{ l} / \text{s}$$

Caudal de diseño recomendado al 85% para riego

$$Q_{dis85\%_p} = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{y} \quad Q_{dis85\%_m} = 8.88 \text{ l} / \text{s}$$

### 9.4.- METODOLOGÍA DE LA INSERCIÓN DEL MATERIAL SÓLIDO EN EL MODELO.

Los sedimentos son colocados aguas arriba del modelo, en el cauce del río, para los diferentes caudales con los cuales se realizan los ensayos en el modelo, estos caudales son máximos, mínimos y de diseño.



Fotografía N° 9.6 Metodología de colocación de sedimentos.

El material a insertar en el modelo son sedimentos de fondo; el objetivo de implantar el desripador es visualizar y analizar cualitativamente el funcionamiento del modelo con material sólido.

Los diferentes ensayos se realizaron con sedimentos los cuales previos al ensayo fueron tamizados y se los pintó de acuerdo a su granulometría para poder identificarlos en las diferentes pruebas a ensayarse el modelo.

#### **9.5.- METODOLOGÍA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO**

1. Una vez verificado el nivel del piezómetro, se abre la válvula para que ingrese agua al tanque de carga que forma parte del modelo.
2. Se procede a estabilizar el caudal a través del vertedero rectangular por el que ingresa el agua al modelo hidráulico.
3. Se encera el limnómetro con la cresta del vertedero y se procede a tomar las mediciones aguas arriba del modelo donde el efecto de la turbulencia no afecte a la toma de datos.
4. Una vez obtenidas las medidas de la carga de agua en el vertedero rectangular mediante las ecuaciones de los mismos se obtendrá el caudal de ingreso al modelo y el caudal de captación.
5. Como comprobación y para cuantificar las pérdidas que se pudieron producir, se tomaran medidas en el canal de salida (recirculación) mediante un vertedero triangular.

## **CAPÍTULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **10.1.- CONCLUSIONES SOBRE EL ESTUDIO EXPERIMENTAL**

- Dado que el modelo físico cumple con las condiciones de similitud geométrica y dinámica planteadas en la investigación, los resultados obtenidos y el análisis de las mediciones en el canal desripiador son válidos y satisfactorios para el prototipo del Sistema de Riego Tabacundo ubicada en el Río Arturo.
- Los resultados acerca del arrastre de sedimentos, con la variación de la pared izquierda a 30° del canal desripiador, razón por la cual en la misma se acumulaba gran cantidad de sedimentos, lo que permitió optimizar la limpieza del canal en un 80% con respecto al material en estudio.
- Se recurrió al estudio de la modelación física para estudiar el comportamiento del arrastre de sedimentos, la captación de material sólido en función del ángulo de inclinación del canal desripiador respecto del cauce del río Arturo, de acuerdo al diseño propuesto por el Consejo de la provincia de Pichincha y de esta forma obtener valores reales y no aproximaciones para un mejor funcionamiento del proyecto.
- Se analizó en la diversa bibliografía los criterios de diseños básicos para las captaciones de ríos de montaña, con la implementación de un canal desripiador a lo ancho del cauce del río, con el fin de analizar el volumen de sedimentos que transporta el río Arturo, y la cantidad de material que pasa desde el canal desripiador hacia la rejilla y la galería de fondo y de esta forma aportar al Proyecto del Sistema de Riego Tabacundo de la Provincia de Pichincha.
- La modelación hidráulica realizada en el canal desripiador permitió mejorar la funcionalidad y la conservación de las diferentes estructuras hidráulicas.
- Los modelos hidráulicos facilitan las soluciones a problemas hidráulicos que surgen en el proceso, generando resultados investigados en busca de la solución más óptima tanto técnica como económica.

## **10.2.- CONCLUSIONES SOBRE EL TRABAJO DE TITULACIÓN**

- El proyecto de titulación ha brindado las pautas sobre la importancia de la parte investigativa, en la búsqueda de soluciones en la implementación de un canal desripiador en una obra de captación caucasiana y sus beneficios.
- El Proyecto de investigación abarcó un estudio complementario, como es funcionamiento del canal desripiador a través de pruebas de arrastre de sedimentos para determinar la cantidad de material que pasa hacia la rejilla y hacia la galería de fondo.
- Se realizaron modificaciones del canal desripiador, en la fase del estudio, La modificación 1 corresponde variar la inclinación de la pared izquierda canal desripiador cuyo ángulo es de  $30^\circ$ . La modificación 2 corresponde en la variación del ángulo de inclinación del canal desripiador de  $16^\circ$  a  $10^\circ$
- Como conclusión: las modificaciones 1 y 2 logran optimizar la limpieza del canal desripiador lo que permite que los sedimentos que pasan hacia la rejilla y la galería son en un porcentaje mínimo de 20%.
- La implementación del canal desripiador en el modelo hidráulico investigado y construido como tesis de grado, en el Laboratorio de Hidráulica, con la finalidad de evaluar la captación de sedimentos en el río Arturo presenta una eficiencia del 78% garantizando mayor la recolección de sedimentos y menor material sólido que pasa hacia la rejilla y la galería.

### **10.3.- RECOMENDACIONES**

- En las pruebas realizadas en el canal desripiador, utilizando sedimentos de diferente diámetro, se observó que si se obtiene una buena retención del material de arrastre, se recomienda la implementación del canal desripiador en el diseño original.
- Para el análisis de sólidos en suspensión se recomienda la investigación como un nuevo tema de tesis ya que las pruebas realizadas fueron de carácter cualitativos, mas no cuantitativo por lo difícil que es simular a escala el tamaño de los sedimentos, puede recomendarse un modelo numérico como complemento del modelo físico ampliado.
- En el proceso de construcción del canal desripiador se presentaron filtraciones de agua, las cuales se evidenciaron durante el primer ensayo de prueba; por lo que fue necesario impermeabilizar el canal desripiador con Agua Stop 200 obteniéndose como resultado eficiencia en los ensayos posteriores.
- Continuar fomentando más investigaciones en modelos hidráulicos que ayuden en el conocimiento de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería.



#### **10.4.- GLOSARIO DE TÉRMINOS**

L: longitud del objeto por donde pasa el flujo

$\rho$  : densidad del fluido

$\mu$ : viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ : Viscosidad cinemática

Q: Caudal

A: área de la sección transversal de la tubería

D: diámetro de la tubería por donde pasa el flujo

V: velocidad del agua

g: aceleración de la gravedad

Re: Número de Reynolds

We: Número de Weber

Eu: Número de Euler

K<sub>m</sub>= coeficiente de resistencia de Strickler

n= coeficiente de rugosidad de Manning

K<sub>w</sub>=coeficiente de resistencia debido a la rugosidad de las paredes

K<sub>s</sub>=coeficiente de resistencia debido a la rugosidad del fondo

R=radio hidráulico

I=pendiente o gradiente de energía

M = masa

w = velocidad de caída

H = profundidad del agua

V<sub>s</sub> = peso de sedimentos

$V$  = densidad media

$V_a$  = volumen de sedimentos por unidad de área.

$E_L$  = Escala de longitudes

$L_p$  = Longitudes de prototipo.

$L_m$  = Longitudes de modelo.

$F_p$  = Fuerza de Presión

$F_g$  = Fuerza de Gravedad

$F_E$  = Fuerza Elástica

$F_\mu$  = Fuerza de Viscosidad

$F_\sigma$  = Fuerza de Tensión Superficial

$F_i$  = Fuerza de Inercia

$\Delta$  = densidad relativa cuyo valor común para cuarzos es de 1.65

$D = D_m$  para cauces con material casi uniforme o para diseños conservativos

$D = D_{90}$  para distribuciones de materiales bien gradados y si la distribución granulométrica es log-normal

$D = D_{84}$  para cualquier otra distribución

$V_c$  = velocidad crítica [m/s]

$h_m$  = profundidad media del flujo = profundidad hidráulica

$B$  = ancho de la superficie libre del cauce

## **10.5.- BIBLIOGRAFÍA**

1. MASA, José Antonio, “Modelos hidráulicos”, México, publicación N.-169 de la U.N.A.M 1969.
2. S.A.R.H. (1967) “Obras de toma para presas de almacenamiento”. Subsecretaría de Infraestructura Hidroagrícola. México. D.F. KING, H. Williams. 1962.
3. KROCHIN, Sviatoslav. “Diseño Hidráulico”. Tercera Edición Octubre 2010. impreso en Editorial de la Universidad Técnica Particular de Loja.
4. Gobierno de la Provincia de Pichincha Estudios Hidrológicos Complementarios de las Cuencas de los ríos que aportan para el proyecto de riego Cayambe-Tabacundo, Anexo 3.1 Caudales medios generados (1965-2005).
5. Gobierno de la provincia de Pichincha Estudios Hidrológicos complementarios de las cuencas de los ríos que aportan para el proyecto de riego Cayambe - Tabacundo Tomo I, pág. 39.
6. Programa Hidráulico Sediments V1.0 (METODO DE KHOSLA)
7. HIDALGO, Marcelo. “Introducción a la teoría de modelos Hidráulicos y aplicaciones básicas”. Escuela Politécnica Nacional .Departamento de Hidráulica.
8. GARCÍA F., M. y Maza A., J. A. (1996). “Transporte de Sedimentos”. Instituto de Ingeniería UNAM. México.
9. GARCÍA F., M. y Maza A., J. A. (1998). “Origen y propiedades de los sedimentos”. Instituto de Ingeniería UNAM. México.

10. CHOW, V. T., “Hidráulica de los Canales Abiertos”. Primera edición, Editorial Diana. México.1982.
11. TAMAYO, Mario. “El Proceso de la Investigación Científica”. Editorial Limusa, México, D.F., 2009.
12. NARVÁEZ Mayra y PÉREZ Luis. Estudio en Modelo Hidráulico Físico Reducido del flujo en una Toma de Fondo Tipo Caucasiona o Tirolesa.(Tesis)
13. INERHI, INYCONSULT y PYPSA, Informes definitivos sobre Cartografía, Topografía, Ensayos de Campo y de Laboratorio, Estudios Geológicos-Geotécnicos. 1983
14. Estudio Hidrológico, Informe Final Tomo I, realizado por el Ing. TORRES Paúl MSc. e Ing. COELLO Cristian MSc, Noviembre 2008
15. AZEVEDO J.M & ACOSTA G., Manual de Hidráulica, Harper & Row Latinoamericana, México, 1981.

#### Páginas de Internet

- <http://www.monografias.com>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://educasitios.edu.ar>
- <http://ingenieriacivilfsa.blogspot.com/2013/02/saltos-de-agua-y-presas-de-embalses.html>
- <http://www.fagro.edu.uy>
- <http://www.iwr.msu.edu>

## 10.6.- ANEXOS

### ANEXO 1

**TABLA 5.1 VELOCIDADES DE SEDIMENTACIÓN**

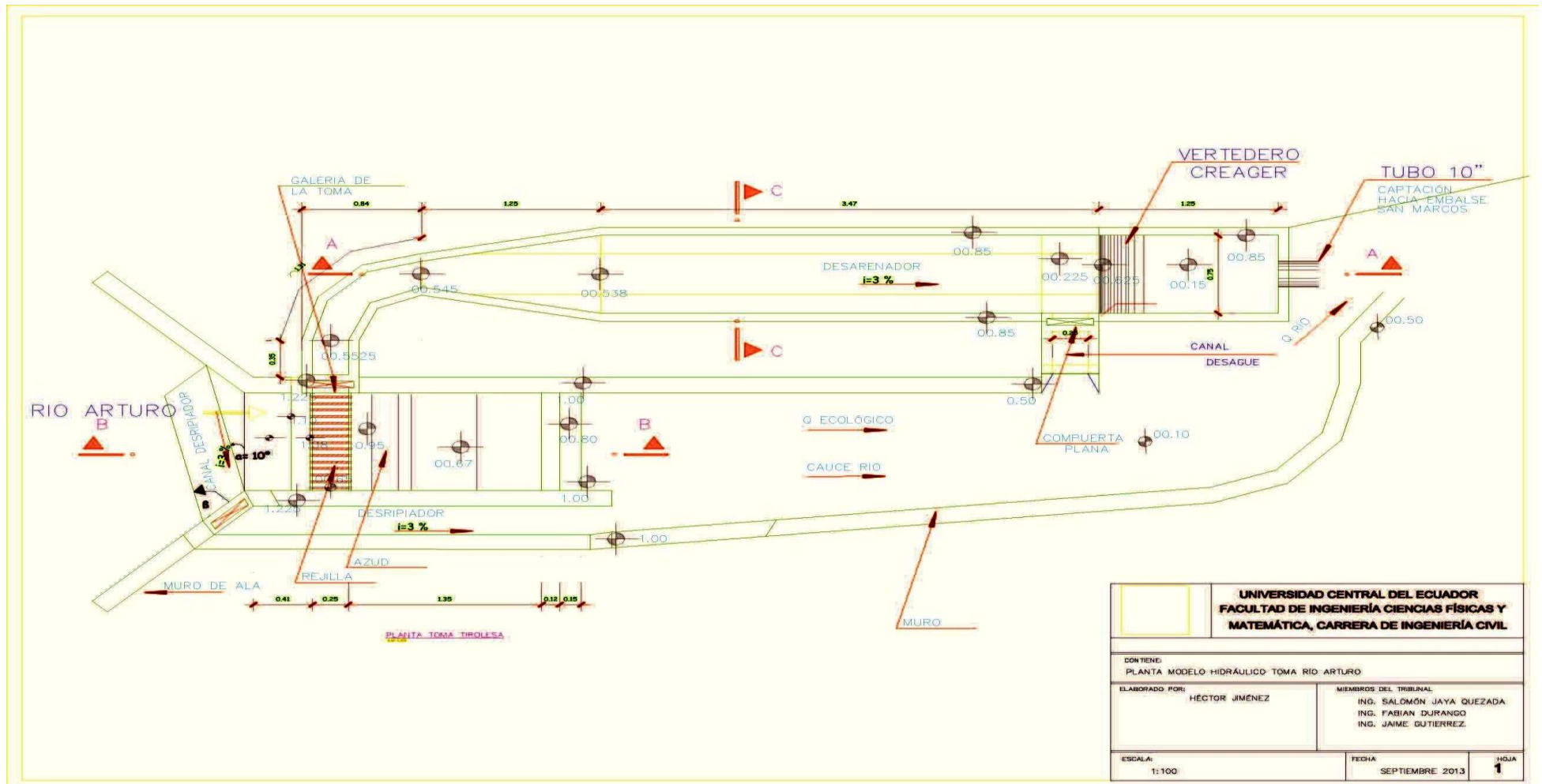
Material	φ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100	1 000	10.0	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$  Allen
	0.080	600	8.3		
	0.050	180	6.4		
	0.050	27	5.3		
	0.040	17	4.2		
	0.030	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
Arena Fina	0.015	2	1.5	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$  Stokes
	0.010	0.8	0.8		
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4		
	0.005	1.0	0.3		
	0.004	1.0	0.2		
	0.003	1.0	0.13		
	0.002	1.0	0.06		
	0.001	1.0	0.015		

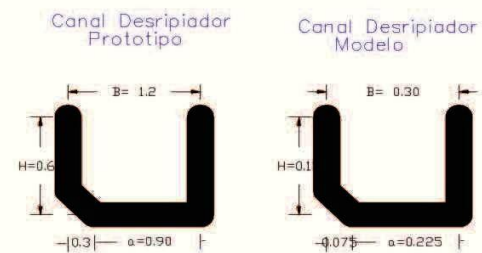
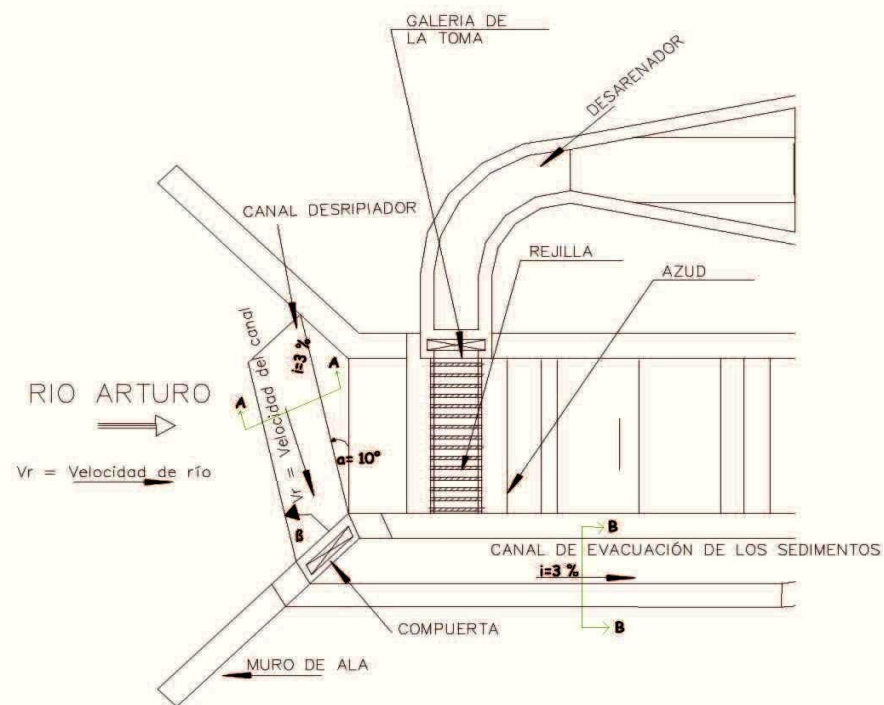
### ANEXO 2

**TABLA 5.2 AFOROS EN EL CANAL DE RIEGO TABACUNDO RÍO ARTURO**

RIO ARTURO				
Fecha	28/06/2008			
Hora	11:29:10	am		
# de secciones	10			
Ancho	2,01	m		
Area Total	0,745	m <sup>2</sup>		
Caudal total	0,241	m <sup>3</sup> /s		
Velocidad Media	32,4	cm/s		
Localizacion	Profundidad	Velocidad	Area	Caudal
m	m	cm/s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
0	0	0	0	0
0,15	0,265	4,39	0,053	0,0023
0,4	0,4	23,67	0,11	0,026
0,7	0,4	19,66	0,12	0,0236
1	0,42	25,4	0,126	0,032
1,3	0,46	35,46	0,138	0,0489
1,6	0,46	68,33	0,138	0,0943
1,9	0,3	23,63	0,06	0,0142
2	0	12,77	0	0
2,01	0	0	0	0

## 6.1 PLANOS Y DETALLES





CORTE A-A



CORTE B-B

<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y</b> <b>MATEMÁTICA, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
CONTIENE: PLANTA MODELO HIDRAULICO TOMA RIO ARTURO		
ELABORADO POR: HÉCTOR JIMÉNEZ	MIEMBROS DEL TRIBUNAL ING. SALOMÓN JAYA QUEZADA ING. FABIAN DURANGO ING. JAIME GUTIERREZ.	
ESCALA: 1:100	FECHA SEPTIEMBRE 2013	HOJA <b>1</b>

### 10.6.1.- REGISTRO DE DATOS

Descripción	Caudal ( l/s)	Calado en el Vertedero ( cm)
Caudal Mínimo (Q mín.)	2.81	1.88
Caudal diseño recomendado (Q 85%)	6.88	3.42
Caudal Medio ( Q med )	12.19	5.01
Caudal de diseño (Q1.15%)	46.88	12.29
Caudal máximo (Q máx.)	54.05	13.52

Caudales y Calados de ingreso al Sistema de Toma

Caudales Q (l/s)		Eficiencia % (con sedimentos)	
		Sin Desripiador	Con Desripiador
Mínimo	2.81	89.4	99.7
Diseño al 85%	6.88	83.7	94.75
Medio	12.19	70.3	84.8
Diseño	46.88	56	79.69
Máximo	54.06	50.4	76.98



#### **10.6.2.- SERIE FOTOGRÁFICA**



Fotografía N° 10.1 Cauce de río Arturo.



Fotografía N° 10.2 Cauce de río Arturo.



Fotografía N° 10.3 Cauce de río Arturo.



Fotografía N° 10.4 Cauce de río Arturo.





Fotografía N°10.5 Aforo del caudal del río Arturo.



Fotografía N°10.6 Modelo hidráulico construido en la tesis anterior



Fotografía N°10.7 Tanque de carga del modelo hidráulico.



Fotografía N°10.8 Modelo hidráulico modificado actual.



Fotografía N°10.9 Funcionamiento del Modelo Hidráulico con desripiador.



Fotografía N°10.10 Funcionamiento del Modelo Hidráulico con desripiador.

### **10.6.2 AGRADECIMIENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos para dos personas de respeto y mucha consideración, quienes me ayudaron en la buenas y en las malas sin pedir nada a cambio estos señores son considerados como mis amigos quienes me ayudaron a lograr mi titulación son Don Apolo y Don Pato.

Héctor Jiménez Guato